

ESTUDI DE LA FABRICACIÓ ADDITIVA / IMPRESSIÓ 3D I LA SEVA APLICACIÓ A LA INDÚSTRIA NAVAL.

POSSIBLES USOS EN EMBARCACIONS D'ESBARJO

Treball Final de Grau



Facultat de Nàutica de Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya

Treball realitzat per:

Maria Montserrat Dolz Ripollés

Dirigit per:

Xavier Martínez Garcia

Co-dirigit per:

Jordi Torralbo Gavilán

Grau en Enginyeria en Sistemes i Tecnologia Naval

Barcelona, 9 de Juliol 2019

Departament de Ciència i Enginyeria Nàutiques



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Facultat de Nàutica de Barcelona

ESTUDI DE LA FABRICACIÓ ADDITIVA / IMPRESSIÓ 3D I LA SEVA APLICACIÓ A LA INDÚSTRIA NAVAL.

POSSIBLES USOS EN EMBARCACIONS D'ESBARJO

Implementació a les Drassanes Nicolau



AGRAÏMENTS

Mitjançant aquestes línies, vull expressar el més sincer agraïment a totes aquelles persones que d'una forma o altra han fet possible l'elaboració del present treball. Són persones que desinteressadament s'han preocupat, han col·laborat en el meu treball i m'han donat suport incondicional.

Vull començar agraint als meus tutors del projecte, Xavier Martínez i Jordi Torralbo, per acceptar la direcció d'aquest treball i per representar per a mi un suport permanent. Gràcies per la orientació i guia que sempre m'heu ofert al llarg d'aquesta investigació.

En segon lloc, m'agradaria donar les gràcies a Miquel Nicolau per donar-me la possibilitat de contextualitzar el treball en un entorn naval, a les drassanes Astilleros Nicolau.

Desitjaria recordar també al personal i professors de la Facultat Nàutica de Barcelona, que m'han acompanyat al llarg de la titulació i han avivat en mi l'interès pel sector naval.

El meu agraïment final és a la meva família. Als meus pares Antoni i Lourdes pel seu suport pel que fa als meus estudis, i als meus germans Bernat, Toni i Pau, per la seva comprensió i alegria.

Gràcies

RESUM

El present treball demostra la validesa de la fabricació additiva de plàstics i materials compostos, mitjançant la tecnologia FDM (Fused Deposition Modelling), per a fabricar peces pròpies d'una embarcació de pesca d'arrossegament.

Aquesta demostració ha estat feta en quatre passos. En primer lloc s'ha realitzat una fonamentació teòrica que s'ha basat en el criteri de classificació de l'ASTM (Societat Americana per a Proves i Materials) a fi de determinar processos, precisió dimensional, materials, beneficis i limitacions de cada una de les tecnologies. S'ha observat la falta de normalització pel que fa al procés genèric d'impressió 3D i als processos de fabricació additiva. Tot i això, s'ha determinat que la tecnologia més adient per a la construcció de peces en la indústria naval és la FDM.

En segon lloc, s'ha fet palès la manca d'una normativa que estudiï la implementació de la fabricació additiva en la indústria naval. Encara que DNV-GL ha fet una guia classe per a classificar elements confeccionats en impressió 3D, cal normalitzar l'ús d'aquesta tecnologia explicitant amb major detall requisits que han superar els elements i oferir un sistema per a determinar el material i la metodologia d'impressió.

En tercer lloc, s'ha realitzat un model de selecció de peces susceptibles a ser impreses i el procés a seguir per tal de seleccionar el material adequat. Concretament, s'ha estudiat l'aplicació a un vaixell de pesca d'arrossegament en construcció a les drassanes Astilleros Nicolau de Sant Carles de la Ràpita. S'ha demostrat que l'aplicació de la impressora *Discovery 3D Printer* presenta beneficis econòmics i de reducció de pes en la construcció d'una embarcació.

Per últim, s'ha realitzat satisfactòriament la construcció d'una de les peces estudiades amb profunditat i s'ha observat la viabilitat d'implementar la fabricació additiva a la indústria naval. Per últim, s'ha realitzat satisfactòriament la construcció d'una de les peces estudiades amb profunditat i s'ha observat la viabilitat d'implementar la realitat additiva a la indústria naval.

ABSTRACT

The present dissertation demonstrates the validity of the additive manufacturing of plastics and composite materials, by means of the FDM (Fused Deposition Modelling) technology, in order to manufacture our own pieces of a trawling ship.

This demonstration has been done in four steps. Firstly, it has been conducted a theoretical basis that it has its grounds in the classification criteria of the ASTM (American Society for Testing and Materials) due to determine processes, dimensional precision, materials, profits and the limitations of each of the technologies. It has been seen the lack of normalization referred to the generic 3D printing and to processes of the additive manufacturing.

Furthermore, it has been noted the paucity of a regulation which studies the naval industry additive manufacturing implementation. Despite that DNV-GL has done a class guideline in order to classify 3D-printing-made elements, it is required the use of this technology explicitly stating with better the requisites which the elements must pass and offer a system to determine the material and the printing methodology.

Besides, It has been realized a selection model of the printing-susceptible pieces and the process that must be followed in order to select the suitable material. Concretely, it has been studied the application to a trawling ship under construction in the Astilleros Nicolau's shipyard in Sant Carles de la Ràpita. It has been demonstrated that the application of the Discovery 3D Printer presents economic profits and of weight reduction in the construction of a vessel.

To end with, it has been satisfactorily conducted the construction of one the studied pieces with profoundness and it has been observed the viability of implementing the additive manufacturing to the naval industry.

ÍNDIX

AGRAÏMENTS	II
RESUM	III
ABSTRACT	IV
ÍNDIX DE FIGURES	XI
ÍNDIX DE TAULES.....	XIV
LLISTAT D'ACRÒNIMS	XVIII
 INTRODUCCIÓ	 1
 1. FONAMENTACIÓ TEÒRICA.....	 4
1.1. Introducció	4
1.2. Història de la fabricació additiva	5
1.3. Fabricació additiva	7
1.3.1. Definicions i conceptes bàsics	7
1.3.2. Procés genèric	8
1.3.2.1. Disseny CAD.....	10
1.3.2.2. Conversió a StereoLithography (STL). Arxiu de fabricació additiva (AMF)..	11
1.3.2.3. Transferència a la màquina AM i manipulació d'arxius	14
1.3.2.4. Configuració de la màquina.....	15
1.3.2.5. Construcció de la peça	17
1.3.2.6. Retirada i neteja de l'objecte construït.....	19
1.3.2.7. Post processament	20
1.3.2.8. Aplicació	21
1.3.3. Tecnologies de fabricació additiva	22
1.3.3.1. Principals components d'una impressora de fabricació additiva	23
1.3.3.2. Classificació segons ASTM	25

Foto polimerització de cubeta (Vat Photopolymerization)	27
Fusió de llit de pols (Powder Bed Fusion Processes)	29
Injecció d'aglutinant (Binder Jetting)	33
Injecció de material (Material Jetting)	36
Laminació de xapes (Sheet Lamination Processes)	39
Extrusió del material (Material Extrusion Processes)	42
Deposició d'energia dirigida (Directed Energy Deposition)	45
1.3.3.3. Classificació segons Kruth i D.T. Pham	48
1.3.4. Beneficis i limitacions de la fabricació additiva	50
1.4. Descripció dels processos i materials de fabricació additiva	58
1.4.1. Processos de Foto polimerització de cubeta	60
1.4.1.1. Processos	60
1.4.1.2. Precisió dimensional	62
1.4.1.3. Materials	62
1.4.1.4. Beneficis i limitacions	63
1.4.2. Processos de Fusió de llit de pols	64
1.4.2.1. Processos	64
1.4.2.2. Precisió dimensional	68
1.4.2.3. Materials	68
1.4.2.4. Beneficis i limitacions	72
1.4.3. Processos d'injecció d'aglutinant	73
1.4.3.1. Processos	73
1.4.3.2. Precisió dimensional	75
1.4.3.3. Materials	75
1.4.3.4. Beneficis i limitacions	76
1.4.4. Processos de d'injecció de material	77
1.4.4.1. Processos	77
1.4.4.2. Precisió dimensional	79
1.4.4.3. Materials	79
1.4.4.4. Beneficis i limitacions	81
1.4.5. Processos de laminació de xapes	82
1.4.5.1. Procés principal	82
1.4.5.2. Precisió dimensional	83

1.4.5.3.	Materials	83
1.4.5.4.	Beneficis i limitacions	83
1.4.6.	Processos d'extrusió del material	84
1.4.6.1.	Procés principal	84
1.4.6.2.	Precisió dimensional.....	85
1.4.6.3.	Materials	85
1.4.6.4.	Beneficis i limitacions	88
1.4.7.	Processos de deposició d'energia dirigida	89
1.4.7.1.	Processos.....	89
1.4.7.2.	Precisió dimensional.....	90
1.4.7.3.	Materials	91
1.4.7.4.	Beneficis i limitacions	93
1.5.	Consideracions finals.....	94
2.	SOCIETATS DE CLASSIFICACIÓ EN LA INDÚSTRIA DE LA FABRICACIÓ ADDITIVA	97
2.1.	Introducció	97
2.2.	Determinació de les tecnologies de principal interès en la indústria naval.....	98
2.3.	Propietats dels materials establertes per normatives	103
2.3.1.	Propietats dels materials establert per UNE-EN ISO 12215-1:2019 i UNE-EN ISO 12215-3:2019	103
2.3.2.	Propietats de resistència al foc per la societat de classificació RINA.....	107
2.3.1.	Propietats dels materials establert pel codi FTP	109
2.4.	Relació de normatives del sector naval i fabricació additiva	111
2.5.	Consideracions finals.....	113
3.	LA INDÚSTRIA NAVAL A LA DRASSANA "ASTILLEROS NICOLAU"	115
3.1.	Introducció	115
3.2.	Contextualització dels Astilleros Nicolau	115
3.3.	Projecte d'estudi	118
3.3.1.	Aprenent del passat	118
3.3.2.	Construint el present.....	121
3.3.3.	Projecció de futur	126

3.3.3.1.	Estudi de la viabilitat d'impressió 3D de les peces de la nova embarcació	126
3.3.3.2.	Llistat dels elements amb possibilitat de fabricació additiva.....	127
3.3.3.3.	Selecció de les peces de principal interès	131
	Reixeta presa de mar.....	133
a)	Descripció	133
b)	Regulació aplicable	133
c)	Paràmetres i factors de la reixeta de la presa de mar en l'actualitat	136
d)	Selecció de materials per a la reixeta de la presa de mar en fabricació additiva	137
e)	Comparació de costos de la reixeta de la presa de mar, en fabricació additiva i comprada	140
f)	Dades de l'element confeccionat amb fabricació additiva	144
g)	Comparació peça comprada i peça fabricada amb impressió 3D	144
	Passa casc	145
a)	Descripció	145
b)	Regulació aplicable	145
c)	Paràmetres i factors del passa casc i l'aixeta de fons en l'actualitat	148
d)	Selecció de materials per al passa casc en fabricació additiva	149
e)	Comparació de costos del passa casc, en fabricació additiva i comprada	149
f)	Dades de l'element confeccionat amb fabricació additiva	151
g)	Comparació peça comprada i peça fabricada amb impressió 3D	152
	Aixeta de fons de la presa de mar	153
a)	Descripció	153
b)	Regulació aplicable	153
c)	Paràmetres i factors de l'aixeta de fons en l'actualitat.....	153
d)	Selecció de materials per a l'aixeta de la presa de mar en fabricació additiva	154
e)	Comparació de costos de l'aixeta de la presa de mar, en fabricació additiva i comprada	154
f)	Dades de l'element confeccionat amb fabricació additiva	156
g)	Comparació peça comprada i peça fabricada amb impressió 3D	157
	Consola o panell de comandament.....	158
a)	Descripció	158

b)	Regulació aplicable	158
c)	Paràmetres i factors de la consola o panel de comandament en l'actualitat	159
d)	Selecció de materials per al panel de comandament en fabricació additiva	161
e)	Comparació de costos del panell de comandament o consola	163
f)	Dades element confeccionat amb fabricació additiva	165
g)	Dades element confeccionat en fabricació additiva	166
	Arc de llums de navegació	167
a)	Descripció	167
b)	Regulació aplicable	167
c)	Paràmetres i factors de l'arc en l'actualitat	170
d)	Selecció de materials per a l'arc en fabricació additiva	172
e)	Comparació de costos de l'arc, en fabricació additiva i comprada	174
f)	Dades element confeccionat amb fabricació additiva	176
g)	Comparació peça comprada i peça fabricada amb impressió 3D	177
3.3.1.	Comparativa dels elements seleccionats	178
3.4.	Consideracions finals	179
4.	APLICACIÓ PRÀCTICA DE LA FABRICACIÓ ADDITIVA	184
4.1.	Introducció	184
4.2.	Disseny de la consola de comandament	185
4.2.1.	Estudi dels equips propis de la consola	185
4.2.2.	Estudi de normativa de disseny	187
4.2.3.	Disseny CAD/CAM	188
4.2.4.	Selecció de la secció a estudiar i disseny propi	189
4.3.	Conversió a Stereolithography (STL). Arxiu de fabricació additiva	193
4.4.	Transferència a la màquina AM i manipulació d'arxius	194
4.5.	Configuració de la màquina	195
4.5.1.	Propietats de la impressora BCN3D	195
4.5.2.	Propietats del material emprat	196
4.5.3.	Configuració de la impressió	198

4.6.	Construcció de la peça	199
4.7.	Retirada i neteja de l'objecte construït	201
4.8.	Post processament	202
4.9.	Aplicació de la consola de comandament	202
4.10.	Consideracions finals	203
5.	CONCLUSIONS.....	207
6.	CONTINUÏTAT DE PROJECTE	212
7.	BIBLIOGRAFIA	215
8.	ANNEXOS.....	223
	ANNEX 1: Classificació segons el procés de les tecnologies de fabricació additiva	224
	ANNEX 2: Llistat d'elements amb criteris d'ús naval	226
	ANNEX 3: Estudi de les peces aptes a ser impreses en fabricació additiva	232
	ANNEX 4: Base de dades de materials aptes per a fabricació additiva FDM i correlació de la normativa i materials per a impressió FDM	242
	ANNEX 5: Canonades amb termoplàstics: pressions permissibles i límits de temperatura .	244
	ANNEX 6: UNE EN ISO 10224:2002: colzes de canonades	245
	ANNEX 7: Distribució dels instruments més importants del lloc de comandament.....	248
	ANNEX 8: Estudi de costos de la fabricació additiva	251
	ANNEX 9: Fitxa tècnica vàlvula d'esfera TMM	255
	ANNEX 10: Fitxa tècnica de la impressora Discovery 3D Printer	256
	ANNEX 11: PLÀNOLS.....	260

ÍNDEX DE FIGURES

CAPÍTOL 1

Figura 1.1: Il·lustració dels 8 passos genèrics en el procés que es duu a terme des del disseny de la peça en CAD fins a la seva aplicació. Font: [6], [7]	XIV
Figura 1.2: Disseny CAD mitjançant l'eina Rhinoceros&Grasshopper. Font pròpia.....	10
Figura 1.3: Representació d'un toroide en visualització CAD mitjançant una superfície de triangulació plana present un arxiu STL. La "x" representa el punt de distància mínima entre el pla format pel triangle "a, b, c" i el toroide. Font: [7].....	12
Figura 1.4: Conversió a StereoLithography (STL). Font pròpia.....	13
Figura 1.5: Transferència del format STL a la impressora i manipulació d'arxius. Font pròpia.	15
Figura 1.6: Diagrama de flux d'informació per al control del sistema. Font: [4]	16
Figura 1.7: Mostra de G-Code extret mitjançant el programa Slic3r. Font pròpia	16
Figura 1.8: Construcció de la peça mitjançant una impressora Fundació CIM UPC - Barcelona Teach. Font pròpia.	17
Figura 1.9: Impressora 3D Ultimaker . Font pròpia.....	17
Figura 1.10: Retirada i neteja de l'objecte construït, en aquest cas, mitjançant una xeringa. Font pròpia.	19
Figura 1.11: Post processament de la peça construïda. Forn tubular Carbolite amb mufla ceràmica, emprat per tractar tèrmicament petites peces de forma uniforme. Font pròpia.....	20
Figura 1.12: Renderitzat per simular l'objecte construït. Font pròpia	21
Figura 1.13: Plataforma d'impressió d'una impressora 3D. Font [20]	23
Figura 1.14: Motor pas a pas. Font [20]	24
Figura 1.15: Capçal impressora 3D. Font [20]	24
Figura 1.16: Categories de la fabricació additiva segons la classificació ASTM, Font: [22].....	26
Figura 1.17: Esquema il·lustratiu del procés de fotopolimerització. Font [26]	28
Figura 1.18: Detall d'una peça confeccionada pel mètode de fotopolimerització. Font: [27] ...	29
Figura 1.19: Esquema del procés de fusió de llit en pols (PBF). Font: [28]	31
Figura 1.20: Detall d'una peça confeccionada pel mètode de PBD. Font: [29].....	32
Figura 1.21: Esquema del procés d'injecció d'aglutinament. Font: [30]	34
Figura 1.22: Detall d'una peça confeccionada pel mètode d'injecció d'aglutinant. Font: [31] ..	35
Figura 1.23: Esquema del procés d'injecció de material. Font: [33]	38
Figura 1.24: Esquema del procés de laminació per xapes. Font: [34].....	40
Figura 1.25: Esquema del procés d'extrusió del material. Font: [35]	43
Figura 1.26: Detall d'una peça confeccionada pel mètode d'extrusió del material mitjançant un termoplàstic. Font: [36].....	44
Figura 1.27: Esquema del procés de deposició d'energia dirigida. Font: [38]	46
Figura 1.28: Classificació de mètodes de prototipatge ràpid. Adaptat de[1].	49
Figura 1.29: Esquema dels principals beneficis de la fabricació additiva. Font pròpia.....	50
Figura 1.30: Comparació del procés d'impressió 3D (vermell) i el procés de fabricació tradicional (negre). Adaptat de [36].....	52

Figura 1.31: Gràfic representatiu de ventes anuals d'impressores a nivell mundial (impressores amb un cost inferior a 5000€). Font: pròpia	55
Figura 1.32: Gràfic representatiu de ventes anuals d'impressores industrials a nivell mundial en els darrers anys. Font: pròpia.....	55
Figura 1.33: Esquema dels principals limitacions de la fabricació additiva. Font pròpia.....	56
Figura 1.34: Etapes del procés FDM. Font [64]	84

CAPÍTOL 2

Figura 2.1: Esquema il·lustratiu de la primera selecció de tecnologies de fabricació additiva al sector naval. Font pròpia	101
Figura 2.2: Selecció de materials mitjançant CES EduPack. Font pròpia	112
Figura 2.3: Famílies de materials mitjançant CES EduPack. Font pròpia	112

CAPÍTOL 3

Figura 3.1: Ubicació de les drassanes a Sant Carles de la Ràpita. Font: Google Maps	115
Figura 3.2: Instal·lacions de la drassana. Font pròpia.	116
Figura 3.3: Mostra de tres exemples (A,B,C) de la producció anual a les Drassanes Nicolau. Font: [87]	117
Figura 3.4: Recull fotogràfic de l'embarcació TA-1-1350.	119
Figura 3.5: Estructura del casc de l'embarcació en construcció, quilla, roda i "huelgo" del timó i la hèlix. Font pròpia.....	121
Figura 3.6: Procés de pintat i aplicació de resina. Font: facilitat per les drassanes Nicolau i propi	122
Figura 3.7: Motor Caterpillar embarcació TA-1-1350. Font pròpia.....	123
Figura 3.8: Bites embarcació TA-1-1350. Font pròpia.....	124
Figura 3.9: Reixeta de la presa de mar i passa casc. Font: [88].....	131
Figura 3.10: Passa casc i aixeta de fons de la presa de mar. Font: [89]	131
Figura 3.11: Panell de comandament. Font: [90].....	131
Figura 3.12: Arc (Aleró) de Pont. Font: [91]	131
Figura 3.13: Reixeta de mar construïda amb llautó. Font [99]	136
Figura 3.14: Reixeta filtrant i passa-casc. Font: [100]	136
Figura 3.15: Comparació del cost de la reixeta en fabricació additiva i comprada. Font pròpia	141
Figura 3.16: Passa casc embarcació TA-1-1350. Font pròpia	145
Figura 3.17: Comparació del cost del passa casc en fabricació additiva i comprada. Font pròpia	150
Figura 3.18: Comparació del cost de l'aixeta en fabricació additiva i comprada.....	155
Figura 3.19: Panell de l'embarcació TA-1-1350.....	160

Figura 3.20: Comparació del cost del panell de comandament en fabricació additiva i comprada. Font pròpia.....	164
Figura 3.21: Vistes de l'arc de l'embarcació TA-1-1350. Font pròpia	167
Figura 3.22: Llums i marques d'ajuda a la navegació	168
Figura 3.23: Llums i marques d'ajuda a la navegació d'un vaixell de pesca d'arrossegament de menys de 50m d'eslora	168
Figura 3.24: Vistes de l'arc de pont amb les llums i marques d'ajuda a la navegació. Realitzat amb Rhinoceros. Font pròpia.....	173
Figura 3.25: Vista de l'arc amb les llums i marques d'ajuda a la navegació. Realitzat amb Rhinoceros. Font pròpia	173

CAPÍTOL 4

Figura 4.1: Vista lateral de la disposició dels instruments del sostre i de la consola de comandament. Font: UNE EN ISO 1864:2008.....	187
Figura 4.2: Renderitzat de la consola de comandament. Font pròpia	188
Figura 4.3: Disseny de la consola de comandament mitjançant Rhinoceros. Font pròpia	188
Figura 4.4: Unió tipus "T" entre les peces amb suport de cargol. Font pròpia	189
Figura 4.5: Disseny d'una secció de la consola de comandament mitjançant Rhinoceros. Font pròpia	190
Figura 4.6: Peces que conformen el panell de comandament. Font pròpia	190
Figura 4.7: Renderitzat de la secció de la consola de comandament, mitjançant keyshot. Font pròpia	191
Figura 4.8: Segon renderitzat de la secció de la consola de comandament. Font pròpia	192
Figura 4.9: Vistes i renderitzat de la secció de la consola que es desitja imprimir. Font pròpia	193
Figura 4.10: Conversió de la secció de la consola de comandament a StereoLithography (STL). Font pròpia	194
Figura 4.11: Transferència del format STL a la impressora Sigma i manipulació d'arxius. Font pròpia.	195
Figura 4.12: Mostra del G-Code de la consola de comandament. Font pròpia	198
Figura 4.13: Dades d'impressió de la consola de comandament. Font pròpia	199
Figura 4.14: Procés de construcció de la consola de comandament. Font pròpia	200
Figura 4.15: Extracció de la peça construïda amb la impressora Sigma. Font pròpia.....	201
Figura 4.16: Postprocessament de la peça construïda. Font pròpia	202
Figura 4.17: Primera impressió del panell. Font pròpia	203
Figura 4.18: Segona impressió del panell. Font pròpia	204
Figura 4.19: Tercera impressió del panell. Font pròpia	204

ÍNDEX DE TAULES

CAPÍTOL 1

Taula 1.1: Fites del desenvolupament històric en la fabricació additiva. Font: [2]	6
Taula 1.2: Classificació dels principals materials emprats en fabricació additiva. Font: [15]	18
Taula 1.3: Síntesis dels aspectes més importants de la Foto polimerització de cubeta. Font [24] [21][25].....	27
Taula 1.4: Síntesis dels aspectes més importants de la Fusió de Llit de pols. Font [24] [21] [25]	30
Taula 1.5: Síntesis dels aspectes més importants de la Injecció d'aglutinant. Font [24] [21] [25]	33
Taula 1.6: Síntesis dels aspectes més importants de la Injecció de material. Font [24] [21] [25]	37
Taula 1.7: Síntesis dels aspectes més importants de la laminació de xapes. Font [24] [21] [25]	39
Taula 1.8: Síntesis dels aspectes més importants de la extrusió de material. Font [24] [21] [25]	42
Taula 1.9: Síntesis dels aspectes més importants de la deposició d'energia dirigida. Font [24] [21] [25]	45
Taula 1.10: Classificació de les tecnologies d'impressió 3D. Adaptat de [50].....	59
Taula 1.11: Materials comuns de Polimerització de Cubeta. Adaptat de [50].....	63
Taula 1.12: Materials comuns de Fusió de Llit de pols (Polímers). Adaptat de [7] [50]	69
Taula 1.13: Materials comuns de Fusió de Llit de pols (Metalls). Adaptat de [7] [56]	71
Taula 1.14: Materials comuns d'injecció d'aglutinant. Adaptat de [50] [57]	76
Taula 1.15: Materials comuns d'injecció de material. Adaptat de [50]	80
Taula 1.16: Materials comuns extrusió de material. Adaptat de [49] [50] [65] [66] [67] [68]. ..	87
Taula 1.17: Materials comuns en el procés LENS. Adaptat de [50].	92
Taula 1.18: Materials comuns en el procés EBAM. Adaptat de [50].....	92
Taula 1.19: Taula resum de les tecnologies d'impressió additiva i materials emprats. Imatges Font:[72]–[74]	94

CAPÍTOL 2

Taula 2.1: Materials oferts per les tecnologies DED, ME i PBF. Font pròpia.....	102
Taula 2.2: Propietats de l'acer de resistència normal. Font: UNE-EN ISO 12215-3: 2003	104
Taula 2.3: Propietats de l'acer d'alta resistència. Font: UNE-EN ISO 12215-3: 2003	104
Taula 2.4: Propietats de l'acer austenític. Font: CesEdupack	105
Taula 2.5: Propietats aproximades dels aliatges d'alumini. Font: CesEdupack	105
Taula 2.6: Propietats de les resines líquides. Font: UNE-EN ISO 12215-3: 2003	106
Taula 2.7: Propietats de les resines curades. Font: UNE-EN ISO 12215-3: 2003	106
Taula 2.8: Propietats mecàniques mínimes del laminat de referència. Font: UNE-EN ISO 12215-3: 2003.....	107

CAPÍTOL 3

Taula 3.1: Dades característiques de TA-1-1350. Font [87]	119
Taula 3.2: Dades característiques de la nova embarcació. Font: dades facilitades per Drassanes Nicolau	124
Taula 3.3: Llistat d'elements seleccionats per a ser impresos amb fabricació additiva. Font pròpia	130
Taula 3.4: Dades de la reixeta de la presa de mar actuals. Font pròpia	137
Taula 3.5: Materials aptes per la fabricació additiva de la reixeta de la presa de mar (Base de dades personal). Font pròpia	138
Taula 3.6: Materials aptes per la fabricació additiva de la reixeta de la presa de mar (3D HUBS). Font pròpia.	139
Taula 3.7: Llistat final de materials aptes per la fabricació additiva de la reixeta de la presa de mar. Font pròpia.....	139
Taula 3.8: Cost del material per a la reixeta de la presa de mar. Font pròpia	142
Taula 3.9: Cost de la impressora Discovery 3D Printer. Font pròpia	142
Taula 3.10: Cost de manteniment de la impressora Discovery 3D Printer. Font pròpia	143
Taula 3.11: Cost de consum de la impressora Discovery 3D Printer. Font pròpia	143
Taula 3.12: Dades de la reixeta de la presa de mar confeccionada amb fabricació additiva. Font pròpia	144
Taula 3.13: Taula comparativa de cost, pes i vida útil de la reixeta de la presa de mar comprada i en fabricació additiva. Font pròpia.....	144
Taula 3.14: Longitud mínima del filetejat de l'aixeta de fons. Font UNE EN ISO 9093-2:2019.	147
Taula 3.15: Dades de el passa casc actual. Font pròpia	148
Taula 3.16: Materials aptes per a la fabricació additiva del passa casc . Font pròpia	149
Taula 3.17: Cost del material per al passa casc. Font pròpia	151
Taula 3.18: Costos de impressora, manteniment i consum d'impressió de la impressora Discovery 3D Printer. Font pròpia	151
Taula 3.19: Dades del passa casc en fabricació additiva. Font pròpia	152
Taula 3.20: Taula comparativa de cost, pes i vida útil del passa casc comprat i en fabricació additiva. Font pròpia	152
Taula 3.21: Dades de l'aixeta de fons actuals. Font pròpia.....	153
Taula 3.22: Materials aptes per a la fabricació additiva del passa casc . Font pròpia	154
Taula 3.23: Cost del material per a l'aixeta de fons. Font pròpia	156
Taula 3.24: Costos, manteniment i consum d'impressió de la impressora Discovery 3D Printer. Font pròpia	156
Taula 3.25: Dades de l'aixeta en fabricació additiva. Font pròpia	157
Taula 3.26: Taula comparativa de cost, pes i vida útil de l'aixeta de fons comprats i en fabricació additiva. Font pròpia	157
Taula 3.27: Dades del panell de comandament de pont. Font pròpia.....	160
Taula 3.28: Estudi de costos de la consola de comandament. Font pròpia.....	161
Taula 3.29: Dades del panell de comandament de pont actuals. Font pròpia	161

Taula 3.30: Materials aptes per a la fabricació additiva del panell de comandament de pont.	
Font pròpia	162
Taula 3.31: Altres materials aptes per a la fabricació additiva del panell de comandament de pont.	
Font pròpia	162
Taula 3.32: Cost del material per al panell de comandament.	
Font pròpia	165
Taula 3.33: Costos de impressora, manteniment i consum d'impressió de la impressora	
Discovery 3D Printer. Font pròpia	165
Taula 3.34: Dades de la consola o panell de comandament en fabricació additiva.	
Font pròpia	166
Taula 3.35: Taula comparativa de cost, pes i vida útil del panell de comandament de la pont	
comprat i en fabricació additiva. Font pròpia	166
Taula 3.36: Dades de l'arc de pont.	
Font pròpia	170
Taula 3.37: Dades de compra i observacions del laminat Sandwich	170
Taula 3.38: Dades de l'arc de pont actuals.	
Font pròpia	171
Taula 3.39: Materials aptes per a la fabricació additiva de l'arc de pont.	
Font pròpia.....	172
Taula 3.40: Comparació del cost de l'arc de pont en fabricació additiva i comprada.	
Font pròpia	175
Taula 3.41: Costos de impressora, manteniment i consum d'impressió de la impressora	
Discovery 3D Printer. Font pròpia	176
Taula 3.42: Dades de l'arc de pont en fabricació additiva.	
Font pròpia	177
Taula 3.43: Taula comparativa de cost, pes i vida útil de l'arc de pont comprat i en fabricació	
additiva. Font pròpia	177
Taula 3.44: Taula comparativa de cost, pes i vida útil peces comprades i en fabricació additiva.	
Font pròpia	178

CAPÍTOL 4

Taula 4.1: equips de control, localització i vigilància de la consola de comandament.	
Font pròpia	186
Taula 4.2: Especificacions de la impressora Sigma de BCN3D.	
Font: [120]	196
Taula 4.3: Fitxa tècnica del PLA de BCN 3D.	
Font: [121]	197

CAPÍTOL 8

Taula 8.1: Llistat i selecció dels elements propis del sistema de refrigeració de l'embarcació.	
Font pròpia	233
Taula 8.2: Llistat i selecció dels elements propis del sistema de buidatge i contra incendis.	
Font pròpia	234
Taula 8.3: Llistat i selecció dels elements propis del sistema de combustible.	
Font pròpia....	235
Taula 8.4: Llistat i selecció dels elements propis del sistema hidràulic.	
Font pròpia.....	236

Taula 8.5: Llistat i selecció dels elements propis del sistema d'aigua potable i aigües brutes. Font pròpia	237
Taula 8.6: Llistat i selecció dels elements propis del sistema elèctric. Font pròpia.....	238
Taula 8.7: Llistat i selecció dels elements propis del sistema d'aire comprimit. Font pròpia..	239
Taula 8.8: Llistat i selecció dels elements propis de l'equip de fondeig i amarratge. Font pròpia	239
Taula 8.9: Llistat i selecció d'altres elements propis de l'embarcació. Font pròpia.....	240
Taula 8.10: Llistat i selecció dels elements propis de l'equip per a la navegació. Font pròpia	240
Taula 8.11: Llistat i selecció dels elements propis de l'equip per a la comunicació. Font pròpia	241
Taula 8.12: Llistat i selecció dels elements propis d'equips per a la seguretat del vaixell. Font pròpia	241
Taula 8.13: Dimensions dels colzes amb curvatura uniforme. Canonades de diàmetre de 26,9mm a 323,9mm inclosos. Font: EN 10224:2002	245
Taula 8.14: Característiques mecàniques. Font: EN 10224:2002.....	247

LLISTAT D'ACRÒNIMS

	CATALÀ	ANGLÈS
3DP	Impressió tridimensional	Three Dimensional Printing
3SP	Escaneig, gir i selecció fotogràfica selectivament	Scan, Spin, and Selectively Photocure
ABS	acrilonitril butadieno estirè	acrylonitrile butadiene styrene
ABS	American Bureau of Shipping	American Bureau of Shipping
AD	Aigua dolça	fresh water
AM	Fabricació Additiva	Additive Manufacturing
AMF	Arxiu de Fabricació Additiva	Additive Manufacturing File
AS	Aigua salada	salt water
ASTM	Societat Americana per a Proves i Materials	American Society for Testing and Materials
BJ	Injecció d'aglutinant	Binder Jetting
BV	Bureau Veritas	Bureau Veritas
CAD	Disseny assistit per ordinador	Computer-Aided Design
CDLP	Processament de llum directa contínua	Continuous direct light processing
CLIP	Producció d'interfície líquida contínua	Continuous Liquid Interface Production
CNC	Control numèric per ordinador	Computer Numerical Control
COLREG	Convenció sobre el Reglament internacional per a la prevenció de col·lisions a la mar	Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea
CPE	copolièster	copolyester
DED	Deposició directa d'energia / Deposició d'energia dirigida	Binder Jetting
DLP	Processament de llum directa	Digital Light Processing
DMD	Disposició directa de metalls	Direct Metal Deposition
DMD	Dispositiu de <i>Micromirror</i> Digital	Digital Micromirror Device
DMLS	Sinterització directa amb làser de metall	Direct Metal Laser Sintering
DNV-GL	Det Norske Veritas - Germanischer Lloyd	Det Norske Veritas - Germanischer Lloyd
DOD	Drop-On-Demand	Drop-On-Demand
DWT	pes mort a plena càrrega	Deadweight tonnage
EBAM	Fabricació d'additius per a feixos	Electron Beam Additive Manufacture
EBM	Fusió de feix d'electrons	Electron Beam Melting
FDM / FFF	Modelat per deposició fosa	Fused Deposition Modeling / Fused Filament Fabrication
FFF/ FDM	Fabricació de filaments fusionats	Fused Filament Fabrication
FP	retardant de la flama	Flame retardant
FTP	Procediments de prova de foc	Fire Test Procedures
GT	Tonatge brut	Gross tonnage
HDPE	Polietileno de alta densitat	High-density polyethylene
HDT	Deformació per calor	Heat deformation
HI	Alt impacte	High Impact
IACS	Associació Internacional de Societats de Classificació	International Association of Classification Societies

ISO	Organización Internacional de Normalización	International Organization for Standardization
LED	Diode emisor de llum	Light Emitting Diode
LENS	Formació de xarxes dissenyades per làser	Laser Engineered Net Shaping
LMD	Deposició de metalls làser	Laser Metal Deposition
LOM	fabricació d'objectes laminats	Laminated Object Manufacture
LPF	Làser en pols	Laser Powder Forming
LR	Lloyd's Register of Shipping	Lloyd's Register of Shipping
MIT	Massachusetts Institute Technology	Massachusetts Institute Technology
MJ	Injecció de material	Material Jetting
MJF	Multi-Jet Fusion	Multi-Jet Fusion
MJM	Modelatge Multi-Jet	Multi-Jet Modeling
NPJ	Propagació de partícules nano	Nano particle jetting
NPJ	Raig de nanopartícules	Nano particle jetting
PA	Poliamida	Polyamide
PBF	Fusió de llit de pols	Powder Bed Fusion
PC	policarbonat	polycarbonate
PEEK	polietercercetona	polyketercetone
PET	polièftalat d'etilè	polyethylene of ethylene
PLA	àcid polilàctic	polylactic acid
PMMA	polimetacrilat de metil	methyl polymethacrylate
PMMA	Polimetilmetacrilato	Poly(methyl methacrylate)
PP	Polipropileno	Polypropylene
PPSU	polifenilsulfona	polyphenylsulfone
PVA	alcohol polivinili	polyvinyl alcohol
RINA	Registro Italiano Navale	Registro Italiano Navale
RP	Prototipat ràpid	rapid prototyping
RS	Russian Maritime Register of Shipping	Russian Maritime Register of Shipping
SC	Societat de Classificació	Classification society
SCP	Impressió de curvatures suaus	Smooth Curvatures Printing
SDL	Laminació de deposició selectiva	Selective Deposition Lamination
SHS	Sinterització selectiva de calor	Selective Heat Sintering
SLA	Estereolitografia	StereoLithography
SLM	Fusió làser selectiva	Selective Laser Melting
SLS	Sinterització selectiva per làser	Selective Laser Sintering
STL	Estereolitografia	StereoLithography
TIG	gas inert de tungstè	tungsten inert gas
TPU	poliuretà termoplàstic	thermoplastic polyurethane
UAM	Fabricació additiva d'ultrasons	Ultrasonic Additive Manufacturing
UNE	Una Norma Espanyola	Una Norma Espanyola
UPC	Universitat Politècnica de Catalunya	Universitat Politècnica de Catalunya
UV	Rajos ultraviolats	ultraviolet rays
WL	Línia de flotació	Waterline

INTRODUCCIÓ

Els grans avenços tecnològics de les últimes dècades han obert a la societat un nou món de possibilitats, aquestes noves oportunitats ens han portat fins on ens trobem ara. Cada cop és més comú trobar grups emprenedors que aprofiten aquestes opcions per desenvolupar les seves idees i obtenir un benefici al mateix temps que contribueixen a millorar la societat.

Amb aquest Treball Final de Grau es pretén descobrir com cobrir necessitats en la indústria naval mitjançant l'ús de nova tecnologia avantguardista, les màquines de fabricació additiva. Vista la necessitat creixent d'optimitzar recursos al sector naval, s'ha volgut estudiar com unificar la passió del món marítim amb la creixent oferta de noves tecnologies apostant per la sostenibilitat.

L'objectiu principal del present Treball Final de Grau és realitzar un estudi de la implementació en la indústria naval de la fabricació additiva o també coneguda com màquines d'impressió 3D. Principalment s'ha posat èmfasi en l'aspecte econòmic i funcional per determinar la viabilitat d'aquesta tecnologia. Per això s'ha realitzat un seguiment exhaustiu dels processos, tècniques i tecnologies de treball en la drassana Astilleros Nicolau per conèixer la situació actual i obrir noves possibilitats a aquesta indústria. A fi de conèixer la viabilitat, s'ha portat a terme un estudi comparatiu dels costos de producció i pes de cinc peces per a un vaixell i s'ha efectuat una aplicació pràctica de la construcció additiva, estudiant i dissenyant una peça. D'aquesta manera es pretén determinar, mitjançant les investigacions realitzades en el present treball, si les màquines de fabricació additiva són viables en el sector naval actual i futur, des del punt de vista de l'enginyeria (atenent a la normativa) i econòmic.

L'estructura del present treball consta d'un estudi inicial de la història i evolució de la fabricació additiva, dels materials emprats en els processos de impressió i de les tecnologies emprades per a dur-ho a terme. Tot i que es presenten aquests processos i tècniques, no és objecte d'estudi el funcionament d'aquestes màquines; sols s'han tingut en compte els aspectes rellevants del seu funcionament per a l'objectiu d'aquest Treball. Seguidament s'ha estudiat la implementació d'aquesta tècnica en diferents entorns de la indústria naval. S'ha realitzat un estudi exhaustiu de les propietats dels materials utilitzats en impressió 3D i de la seva idoneïtat per a la indústria naval. A partir d'aquest estudi es presenta un estudi comparatiu per a la fabricació de diferents peces on es considera l'estalvi en el preu final i en el pes. Finalment, s'ha complementat aquest estudi realitzant la construcció d'una peça

mitjançant la fabricació additiva amb un projecte complet: estudi de les normatives, selecció del material, disseny, i fabricació.

L'estudi es completa amb la fonamentació teòrica, la contextualització, l'anàlisi de la posada en pràctica, l'anàlisi dels resultats i l'anàlisi de la peça realitzada.

Els objectes concrets que es persegueixen amb el treball que es durà a terme són:

- Recopilar i analitzar els coneixements existents sobre les tecnologies de fabricació additiva. Elaborar una síntesi amb els diferents processos, materials, beneficis i limitacions, i propietats de precisió de cada procés.
- Determinar les tecnologies de principal interès en la indústria naval a partir de l'anàlisi previ.
- Estudiar les diferents normatives existents i vigents de fabricació additiva que s'apliquen a la indústria naval.
- Detallar els diferents elements d'una embarcació de pesca d'arrossegament que són susceptibles a ser impresos amb fabricació additiva.
- Escollir cinc peces que poden fabricar-se amb tecnologia 3D de forma beneficiosa en tres aspectes: cost, pes i sostenibilitat.
- Dissenyar i elaborar a escala una peça amb tecnologia 3D.
- Investigar els beneficis que pot comportar l'adquisició de la impressora Discovery 3D Printer als Astilleros Nicolau.
- Lliurar als Astilleros Nicolau l'estudi realitzat i el procés a seguir per tal de decidir el material apte per a cada element que vulguin fabricar amb la impressora Discovery 3D Printer.

Per assolir l'objectiu principal del treball de grau, l'estudi de la fabricació additiva i els beneficis de la seva implementació en la indústria naval, s'ha seguit una metodologia que va del més general al més concret, partint de la investigació de les característiques dels materials i de les peces elaborades amb tecnologia 3D per determinar les peces que són susceptibles de ser optimitzades. El punt final d'aquesta concreció ha estat la fabricació d'una peça concreta. Per a la realització d'aquest treball s'ha fet ús de fonts bibliogràfiques, principalment articles tecnològics, consultes a professionals, visites a instal·lacions i informació procedent d'Internet.



CAPÍTOL 1: FONAMENTACIÓ TEÒRICA

1. FONAMENTACIÓ TEÒRICA

1.1. Introducció

Previ a endinsar-se en l'estudi de l'aplicació de la fabricació additiva, cal fer una breu explicació sobre què és aquesta tècnica, en què consisteix, quan va sorgir i en quins aspectes es diferencia envers altres tecnologies de fabricació. També cal conèixer els diferents termes i conceptes amb els quals es fa referència a aquests processos de fabricació additiva, *stereolithography* o *rapid prototyping*, entre d'altres termes. En un principi, aquesta tecnologia va estar circumscrita a un ús industrial especialitzat, com per prototips i utilatge ràpid, és per això que es va començar a denominar Prototipat ràpid.

El prototipatge és una “part essencial del desenvolupament i del cicle de fabricació dels productes necessaris per avaluar la forma, ajustament i la naturalesa d'un disseny abans que es faci una inversió significativa en eines” [1]. Fins fa poc, els prototips eren, en gran mesura, fets a mà per artesans qualificats, afegint setmanes o mesos al temps de desenvolupament del producte. Aquest fet dificultava la creació de prototips més òptims degut al temps de fabricació.

El prototipatge ràpid (RP) és un terme que abasta una sèrie de noves tecnologies per produir parts precises directament a partir de models CAD (Computer-Aided Design, diseño asistido por computadora) en poques hores, amb poca necessitat d'intervenció humana.

Això vol dir que els dissenyadors tenen la llibertat de produir models físics dels seus dibuixos amb més freqüència, cosa que els permet comprovar el muntatge i la funció del disseny, així com problemes de fabricació en xarxa de fàcil interpretació i sense ambigüitats. En conseqüència, es minimitzen els errors i es redueixen substancialment els costos de desenvolupament del producte i els temps de lliurament. S'ha afirmat que RP pot reduir fins a un 70% els costos nous del producte i el temps per comercialitzar un 90% [1]. En aquest apartat es farà present una explicació per tal de poder comprendre el present treball.

1.2. Història de la fabricació additiva

El llançament de la primera impressora 3D va ser a finals de 1988, la SLA-250 de la empresa 3D Systems fundada dos anys abans per l'enginyer Chuck Hull, el qual va patentar aquesta tècnica el 1984 [2]. Chuck Hull va començar a utilitzar la expressió *stereolithography apparatus* per designar el sistema de fabricació per capes successives a partir d'un material sensible a rajos ultraviolats (UV), és a dir, un procés en el qual les capes s'agregaven fotopolímers amb làser ultraviolat [3], d'aquesta manera es solidificaven les capes de resina fotosensible [4].

Paral·lelament, altres equips investigadors ideaven procediments de fabricació additiva. El 1998, Scott i Lisa Crump van crear la companyia Stratasys, els quals estaven desenvolupant el procés FDM (*Fused Deposition Modeling*, Modelat per Depòsit de Fundent), tècnica que permet depositar el material líquid capa per capa a través d'un capçal mòbil d'extrusió.

Va ser el 1993 quan va aparèixer el procés 3DP (*Three Dimensional Printing*, Impressió tridimensional), creat per MIT (Massachusetts Institute Technology) i el 1996 van sortir al mercat tres impressores fonamentals amb el nom de "impressores 3D": la Genisys de Stratasys, la Actua 2100 de 3D Systems i la Z402 de Z Corporation. L'any 2005 la impressora Spectrum Z510 de Z Corporation va mostrar que era capaç de fabricar objectes directament en colors.

Al llarg dels anys, s'han anat creant models i s'han desenvolupat nous processos. Les impressores 3D han estat cada cop més usades pel prototipat ràpid i per a la producció en sèries reduïdes en l'àmbit industrial. Poc a poc s'ha anat introduint aquesta tecnologia a particulars i a partir d'aquí s'han desenvolupat eines web que ajuden a simplificar la tasca dels processos de impressió 3D per a empreses i particulars.

A partir d'aquesta visió van emergir noves empreses a Europa com Shapeways, creada el 2007 a Holanda per Peter Weijmarshausen, Robert Schouwenburg i Marleen Vogelaar els quals oferien un servei d'impressió 3D per a particulars.

El 2009 va néixer Sculpteo a França, fundat per Éric Carreel, Clément Moreau i Jacques Lewiner. Aquesta empresa es va dedicar a desenvolupar eines web per a facilitar el conjunt de processos de la impressió 3D per a ús de particulars i iniciadors en aquesta línia de treball.

Actualment el mercat de la fabricació additiva es troba en plena expansió i la venda d'impressores a particulars és cada cop més habitual. De la mateixa manera, les aplicacions de la impressió 3D a la indústria és cada vegada més freqüent degut als avantatges que ofereix.

En la Taula 1.1 es mostra el desenvolupament i avenços que la fabricació additiva.

Any	Desenvolupament / Avenç
1952	Kojima demostra els avantatges de la fabricació per capes superposades.
1967	Swainson registra una patent a Estats Units per a un sistema de enduriment de resina per làser de doble feix.
1981	Kodama publica tres mètodes de solidificació hologràfica.
1982	Chuck Hull duu a terme investigacions respecte la estereolitografia.
1984	Chuck Hull registra la patent 475330 d'ús de la estereolitografia.
1986	Creació de 3D Systems. Altres investigacions s'inicien.
1987	El prototipat ràpid es converteix en una realitat comercial.
1989	Llançament de Stratasys i de les primeres impressores FDM.
1990	La fabricació additiva s'usa per l'elaboració de motlles.
1995	Z Corporation llança la primera impressora 3DP.
1996	Primeres al·lusions a màquines industrials com "impressores 3D".
2000	La fabricació additiva s'empra per elaborar peces de producció.
2007	Creació de Shapeways als Països Baixos.
2009	Creació de MakerBot Industries i llançament de la MakerBot Cupcake CNC. Llançament de Sculpteo a França.
2011	Es venen 15.000 impressores 3D (al voltant de 40 models disponibles).
2012	Es venen 45.000 màquines.

Taula 1.1: Fites del desenvolupament històric en la fabricació additiva. Font: [2]

1.3. Fabricació additiva

1.3.1. Definicions i conceptes bàsics

El terme de fabricació additiva (*Additive Manufacturing* o *AM*) és un terme adoptat per la organització ASTM (*American Society for Testing and Materials*), fundada l'any 1898, per fer referència a totes les tecnologies de fabricació que compartien el principi bàsic de fabricació directa d'un model físic generat a partir d'un programa de disseny tridimensional sense necessitat de tenir en compte o portar a terme la planificació per als processos de fabricació [5]. Això permet al dissenyador desenvolupar una peça amb una geometria que correspongui amb la seva funció final, sense haver de pensar en la geometria de la peça atenent al procés de fabricació d'aquesta. Es tracta d'un procés mitjançant el qual un arxiu CAD es converteix en un objecte físic mitjançant l'addició de capes de material, el qual pot ser plàstic, resina, metall i paper d'entre altres. Així doncs, els termes de fabricació additiva i impressió 3D s'usen de forma indistinta per qualificar el conjunt de tècniques de fabricació capa a capa.

Els diferents processos d'impressió 3D tenen en comú que els objectes es produeixen a base de superposició de capes successives. És per això que aquesta tècnica també rep el nom de fabricació additiva, doncs es duu a terme mitjançant l'addició de matèria, l'objecte pren forma a mesura que les capes es van dipositant una sobre l'altra.

L'elecció d'aquest terme, segons [6] és degut a la característica distintiva de totes les màquines que pertanyen a aquesta tecnologia de fabricació. Aquestes es basen en realitzar una peça en un sol pas, depositant o agregant el material en capes. Cada una d'aquestes són una secció procedent de la discretització per seccions planes de la peça dissenyada en el model CAD previ a la fabricació, de forma que la peça final es va conformant de forma additiva, en contraposició amb els altres processos de fabricació com el mecanitzat o el fresat que es basen en el principi de la sostracció de material [7].

No obstant això, existeixen màquines de fabricació additiva que combinen una part de procés en la qual es procedeix a la sostracció de material de la peça. Aquest és un matís que no descriu el procés en el seu conjunt, ja que abans de la sostracció de material, aquest ha estat prèviament dipositat per la màquina, per tant és correcte usar el terme de fabricació additiva.

L'objecte que es va creant amb el procés de la fabricació additiva, pot constar de mecanismes interns, formes teixides o entrellaçades, fins i tot espais buits o amb curvatures. La impressió

3D designa principalment el conjunt de processos de fabricació per addició de matèria, que agrupa set tècniques diferents: la extrusió de matèria, la projecció de material, la projecció de aglutinant, el laminat de paper, la fotopolimerització, la fusió de jaços de pols i la disposició directa d'energia [2].

Aquest procés de fabricació ofereix molts avantatges, entre els quals la flexibilitat en el disseny de cada peça. No hi ha límits en el disseny de la pròpia peça, més aviat en la dimensió, la qual es troba actualment en uns 3m^3 . A més a més, cada cop es troben més materials amb els quals treballar, com materials termoplàstics i compostos, a fi de donar cabuda a aplicacions especials com peces resistents a la corrosió i a raigs UV [8]. La optimització del disseny i de la producció contribueixen en la reducció de costos de fabricació, de temps de producció i del pes.

La similitud de la peça dissenyada en CAD i la fabricada depèn de diversos factors, d'entre ells, l'espessor de la capa de material. Cada capa ha de tenir un espessor determinat i, si aquest és menor, més s'aproximarà a l'objecte preestablert.

Els principals aspectes a valorar en la comparació de màquines de fabricació additiva són els següents:

- a) Material emprat en la fabricació
- b) Mètode de creació de les capes
- c) Mètode d'unió entre les capes

Aquests tres aspectes [7] són els que determinen paràmetres com les propietats mecàniques de la peça i la similitud amb la peça dissenyada.

1.3.2. Procés genèric

La fabricació additiva és una tecnologia bastant actual que encara no ha acabat d'assentar els seus fonaments pel que fa a establir un criteri universal per a definir un mateix concepte, classificar les diferents màquines, entre d'altres. No obstant això, es pot definir un procés genèric de la fabricació additiva el qual mostra de forma resumida el funcionament que comparteixen la majoria de màquines de fabricació additiva.

En la **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.** es pot veure aquesta visió genèrica de les accions requerides al llarg del procés de realització d'una peça mitjançant la fabricació additiva [6], [7]:

- a) Conceptualització i disseny assistit per ordinador (CAD)
- b) Conversió a StereoLithography (STL) / Arxiu de fabricació additiva (AMF)
- c) Transferència a la màquina AM i manipulació d'arxius
- d) Configuració de la màquina
- e) Construcció
- f) Retirada i neteja de l'objecte construït
- g) Post processament
- h) Aplicació

La tècnica AM parteix del modelatge de la peça a construir en un software CAD, la conversió d'aquest model al llenguatge de la màquina i el govern d'una planta per a què el filament plàstic es desenvolupi en un rotlle i alimenti una filtre d'extrusió. El filtre es calenta per a fondre el plàstic fins arribar a l'estat de transició vitri i mitjançant un mecanisme de dosificació es controla el flux del material fos [9]. El filtre es munta sobre un sistema de posicionament tridimensional que ubica les coordenades X, Y, Z determinades per la discretització de la peça i deposita una gota de plàstic per formar cada capa del model. A partir del disseny CAD, el model s'exporta a un format estàndard amb una extensió .STL, el qual correspon a la definició de la superfície exterior i es representa de forma triangularitzada

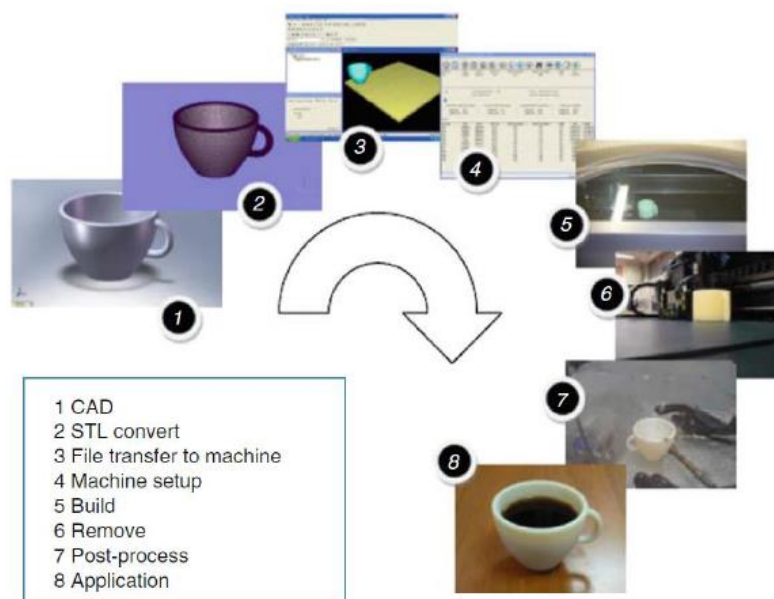


Figura 1.1: Il·lustració dels 8 passos genèrics en el procés que es duu a terme des del disseny de la peça en CAD fins a la seva aplicació. Font: [6], [7]

A continuació s'exposa una breu descripció dels 8 passos genèrics, que es mostren a la **Figura 1.2**. La autoreferència al marcador no es válida., des de la confecció de la peça CAD fins a l'aplicació d'aquesta.

1.3.2.1. Disseny CAD

El primer pas per a la realització d'una peça és idear el disseny, saber la seva utilitat i introduir-ho en un programa de disseny assistit per a poder-ho construir. CAD/CAM són les sigles que fan referència a "Disseny Assistit per Ordinador" i "Fabricació assistida per ordinador". El software CAD/CAM s'utilitza per a dissenyar i fabricar prototips, productes acabats i processos de producció [10].

Actualment es troben a l'abast una gran varietat de programes que faciliten aquesta tasca, d'entre els quals es pot destacar *CATIA*, *SolidWorks*, *Rhinoceros&Grasshopper* i *AutoCAD*. Amb aquests programes es realitza el modelatge geomètric de la peça. A la Figura 1.2 es pot observar un disseny propi amb *Rhinoceros&Grasshopper*.

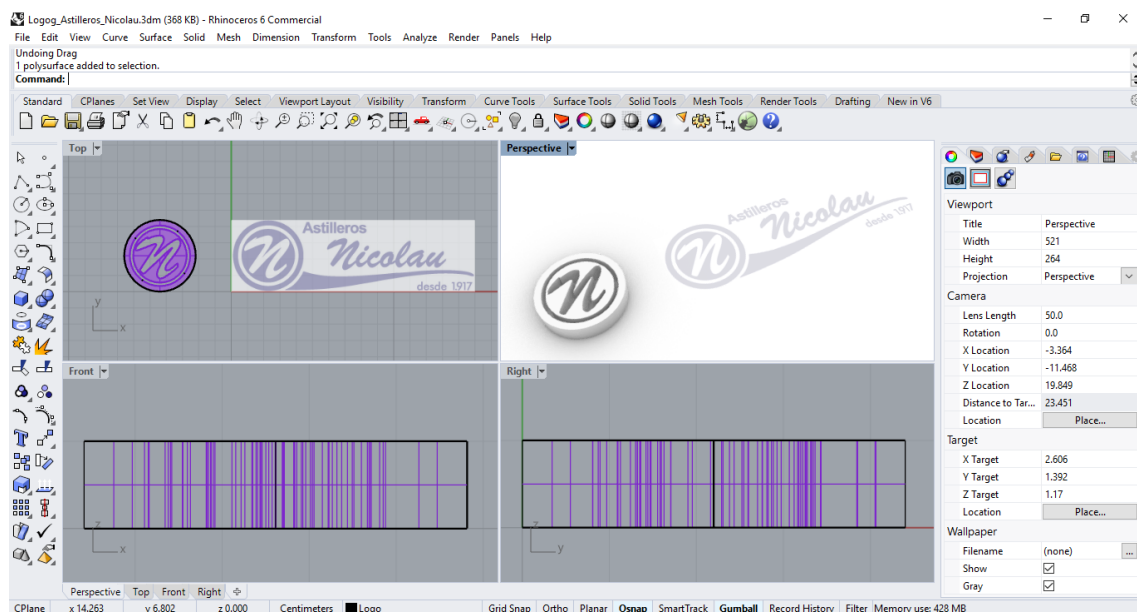


Figura 1.2: Disseny CAD mitjançant l'eina Rhinoceros&Grasshopper. Font pròpia.

El disseny pren com a base l'ús d'un sistema referencial cartesià tridimensional, tenint en compte que la deposició de material es realitza sobre el pla horitzontal X, Y i que el desplaçament a l'eix Z està lligat amb l'espessor de les capes que es van depositant [11].

S'ha de tenir en compte que hi ha peces que en el modelatge poden produir resultats no esperats. Per exemple, pot passar que hi hagi superfícies de sòlids que no quedin tancades, és a dir, que no s'hagin realitzat bé les connexions i és important tenir-ho en compte. Tanmateix, els programes CAD acostumen a tenir indicadors que informen de inconsistències de la peça.

En referència al disseny, hi ha bastant interès en construir estructures cel·lulars amb buits. Aquestes estructures poden ser simètriques o variables (canvia la mida de cada cel·la per omplir adequadament l'espai buit). El principal avantatge d'usar estructures cel·lulars és la reducció del material de construcció necessari sense comprometre la resistència general. Les estructures cel·lulars tenen força cabuda en els processos de AM, donat que es pot dissenyar tota la estructura i optimitzar el material necessari [6].

1.3.2.2. Conversió a StereoLithography (STL). Arxiu de fabricació additiva (AMF)

Un cop s'ha modelat la geometria de la peça mitjançant programari CAD, es procedeix a la conversió del document a una extensió que la màquina de fabricació additiva pugui llegir. La majoria de programes CAD poden realitzar aquesta conversió, no obstant és important conèixer si el programa emprat pot realitzar-ho i la seva darrera actualització. És possible que s'hagin d'instal·lar mòduls o extensions addicionals. Per això a continuació es detallen els fonaments d'aquesta conversió.

a) El format d'arxiu STL¹

El format d'arxiu STL va ser desenvolupat per "3D Systems" i va ser posteriorment adoptat per la majoria de fabricants. Aquest format pretén descriure la geometria del model CAD aproximant les superfícies del model mitjançant triangles plans. Aquests triangles es troben definits per un vector normal amb direcció a l'exterior del model, referenciat a un sistema

¹ Origen de la designació STL: "STereoLithography"; coneguda com "Standard Tessellation Language".

cartesià de coordenades tridimensional, on l'origen d'aquest sistema ha de ser tal que ninguna de les coordenades del model siguin negatives. La mida dels triangles es pot ajustar en el moment de la conversió, a fi d'evitar que apareguin superfícies triangulades evidents sobre les superfícies exteriors de la peça final. Al model tampoc hi ha informació sobre l'escalat ni les unitats, aquestes son arbitràries.

Un dels problemes que es poden trobar en la conversió d'un arxiu CAD a STL és que, en realitzar la triangulació de la superfície, les geometries complexes no quedin ben definides, provocant l'aparició de forats en la superfície de la peça fabricada. Quan apareixen aquests problemes, algunes màquines de fabricació additiva procuren omplir aquests forats, cosa que fa que es dipositi més material del preestablert i provocant alguna forma geomètrica no esperada. En la Figura 1.3 es mostra la representació d'un toroide amb superfície de triangulació en visualització CAD.

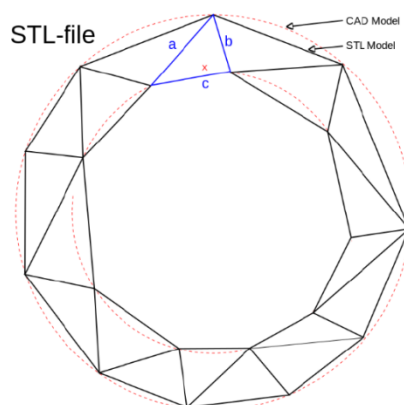


Figura 1.3: Representació d'un toroide en visualització CAD mitjançant una superfície de triangulació plana present un arxiu STL. La "x" representa el punt de distància mínima entre el pla format pel triangle "a, b, c" i el toroide. Font: [7]

No obstant això, aquests inconvenients es poden preveure i ser tractats i rectificats de forma automàtica, aplicant per exemple programes de reparació d'arxius STL [7]. Aquests programes s'executen abans d'enviar l'arxiu STL i permeten detectar errors. En la Figura 1.4 es mostra la triangulació plana de la peça dissenyada en la Figura 1.2.

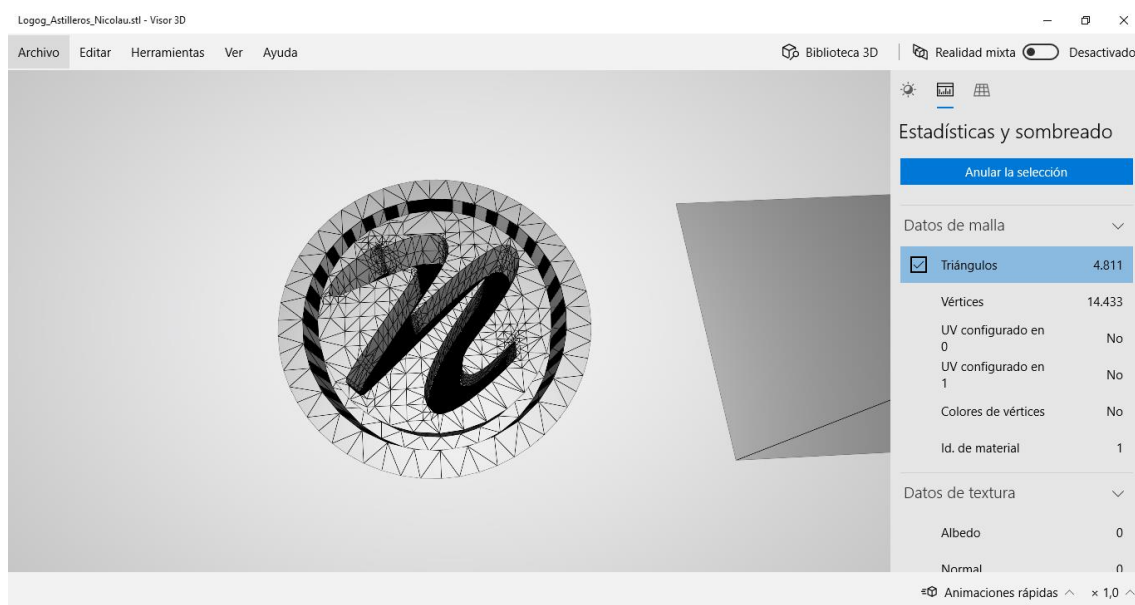


Figura 1.4: Conversió a StereoLithography (STL). Font pròpia.

b) Format d'arxiu AMF

L'òrgan ASTM va crear el comitè F42 per a tractar reptes en relació a la fabricació additiva el 2009. Aquest comitè busca com establir uns estàndards en el sector AM. I per això, un dels seus objectius va ser establir un format d'arxiu que fóra utilitzat per totes les màquines, independentment del fabricant. El 2011 es va publicar la norma del format AMF (*"Additive Manufacturing File Format"*) i el 2013 ho va adoptar la ISO en la norma *ISO / ASTM 52915 – 13*. Per a més informació consultar [12].

El format AMF va procurar millorar les deficiències del format STL. Per a poder saber aquestes deficiències, el comitè F42 de ASTM va realitzar enquestes als professionals del sector i així poder donar resposta a les necessitats. Uns dels aspectes que preocupava als professionals era l'exactitud geomètrica, les unitats o poder especificar diferents materials en un mateix model, entre d'altres aspectes. Es conserva del STL la manera d'aproximar les superfícies del model, però oferint una resolució de dècimes de micròmetres.

Referent a altres particularitats que es van introduir amb el format AMF, a part de la millora de la aproximació geomètrica, són les següents [7]:

- a) Ús d'un format obert d'arxiu basat en XML. El format d'arxiu ja no és propietat d'una sola empresa.

- b) Definició i ocupació d'unitats a l'arxiu.
- c) A l'arxiu AMF es poden definir diferents materials per a una sola peça. Això és d'utilitat en noves màquines de fabricació additiva que són capaces de fabricar emprant múltiples materials.
- d) Permet definir proporcions i gradients de diferents materials dins d'una mateixa peça en funció de les coordenades. D'aquesta manera, es poden crear materials compostos on es pot definir la seva subestructura.
- e) Possibilitat de crear patrons que comparteixin la mateixa geometria. Útil quan es volen fabricar diverses peces iguals o quan l'estructura interna d'una peça presenta patrons.
- f) Afegeix la particularitat de poder especificar colors per a la peça segons materials, regions o vèrtexs o poder afegir gràfics sobre la peça que es fabricarà, referenciant a un arxiu d'imatge.

El comitè F42 de ASTM, a part de les millores comentades, pretén implementar canvis com per exemple textures de superfícies, encriptació de dades per protegir els drets d'autor, dades sobre el control del procés, altres mètodes d'aproximació geomètrica que no es basin en la triangulació (com *Voxel* o *FRep*)... [5], [7], [12].

1.3.2.3. Transferència a la màquina AM i manipulació d'arxius

Ja finalitzada la conversió a Stereolithography (STL) o Arxiu de Fabricació Additiva (AMF), l'arxiu generat es trasllada a la màquina per tal de dur a terme la fabricació. Cada màquina té el seu procediment, però generalment, la majoria permeten realitzar diferents accions sobre l'arxiu generat abans de procedir a la fabricació de l'objecte.

Les manipulacions es realitzen per a comprovar la peça generada i realitzar accions que no s'han efectuat en el pas de la conversió. Segons Ian Gibson et al [6], per arxius STL algunes màquines permeten realitzar canvis com l'escalat de la peça, crear patrons, definir materials o bé que en l'objecte final quedi una gravació que identifiqui la peça, tal com es pot veure en la Figura 1.5. En canvi en els arxius AMF es poden configurar tots els aspectes anteriors durant la conversió a aquest format.

Tanmateix, s'ha de tenir en compte que no es pot generalitzar, ja que cada màquina disposa de funcionalitats que la fan característica, algunes més bàsiques i altres més avançades i per explicar la manipulació d'arxius caldria estudiar el cas concret de la màquina en particular.

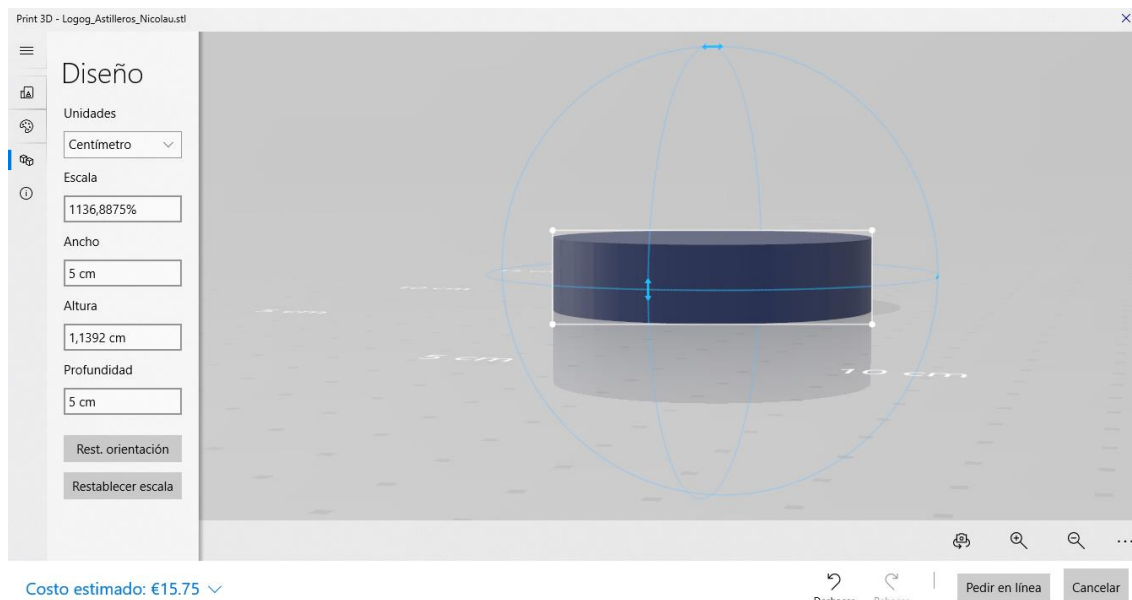


Figura 1.5: Transferència del format STL a la impressora i manipulació d'arxius. Font pròpia.

1.3.2.4. Configuració de la màquina

El pas previ a la construcció additiva de la peça és la configuració de la màquina. Com s'ha explicat prèviament, hi ha paràmetres de configuració que depenen de cada màquina de fabricació additiva, i s'han d'ajustar abans d'iniciar el procés de fabricació.

Per mitjà del sistema informàtic, la màquina interpreta la geometria de la peça a fabricar, que en un principi es dissenya en software CAD, el qual es llegeix per la extensió estàndard de prototipat ràpid .stl o .amf. Tal com s'ha comentat, en realitzar la conversió es defineix una malla de petits triangles sobre les superfícies per tal de definir la forma de l'objecte [13] [4]. Posteriorment, en algunes màquines, aquest arxiu és carregat per un software creat en Java, per al control del sistema, convertint-lo a codi G, que ubica els nodes de cada triangle en coordenades, especial per a la fabricació additiva [9]. A més a més, configura diverses variables com el moment d'iniciar la fabricació, la temperatura de l'extrusor, la distancia de capes, entra d'altres aspectes. A continuació es mostra un diagrama de flux, Figura 1.6, de la informació que finalment rep la màquina després del procés.



Figura 1.6: Diagrama de flux d'informació per al control del sistema. Font: [4]

La complexitat de la màquina es troba intrínsecament lligada a la complexitat de la configuració. Les màquines que permeten l'ús de diferents materials o amb rangs de resolucions diverses, tenen una configuració més complexa que les que disposen de menys opcions. Afortunadament la gran majoria de màquines permeten guardar les configuracions per facilitar els processos[6], [7]. La Figura 1.7 mostra una part del G Code del disseny mostrat anteriorment.

```

; generated by Slic3r 1.3.0 on 2019-06-18 at 13:56:26

; external perimeters extrusion width = 0.55mm (4.37mm^3/s)
; perimeters extrusion width = 0.70mm (11.44mm^3/s)
; infill extrusion width = 0.63mm (13.45mm^3/s)
; solid infill extrusion width = 0.70mm (3.81mm^3/s)
; top infill extrusion width = 0.70mm (2.86mm^3/s)

M107
M104 S200 ; set temperature
G28 ; home all axes
G1 Z5 F5000 ; lift nozzle

; Filament gcode
M109 S200 ; set temperature and wait for it to be reached
G21 ; set units to millimeters
G90 ; use absolute coordinates
M82 ; use absolute distances for extrusion
G92 E0
G1 Z0.350 F7800.000
G1 E-2.00000 F2400.00000
G92 E0
G1 X85.429 Y93.511 F7800.000
G1 E2.00000 F2400.00000
G1 F780.167
G1 X85.753 Y93.226 E2.01336
G1 X86.118 Y92.939 E2.02773
G1 X86.852 Y92.442 E2.05516
G1 X87.292 Y92.195 E2.07076
G1 X87.814 Y91.943 E2.08871
G1 X88.443 Y91.688 E2.10969
G1 X89.041 Y91.501 E2.12910
G1 X89.654 Y91.353 E2.14861
G1 X90.225 Y91.255 E2.16651
G1 X91.008 Y91.187 E2.19086
G1 X91.670 Y91.180 E2.21132
  
```

Figura 1.7: Mostra de G-Code extret mitjançant el programa Slic3r. Font pròpia

1.3.2.5. Construcció de la peça

En aquesta fase, completament automatitzada, es duu a terme la construcció de la peça, que fins ara estava en format CAD digitalitzat, tal com s'aprecia en la Figura 1.8. Aquesta fase automatitzada, no requereix la intervenció de la persona excepte si surt algun imprevist com per exemple la falta de material, una averia o d'altres similars.

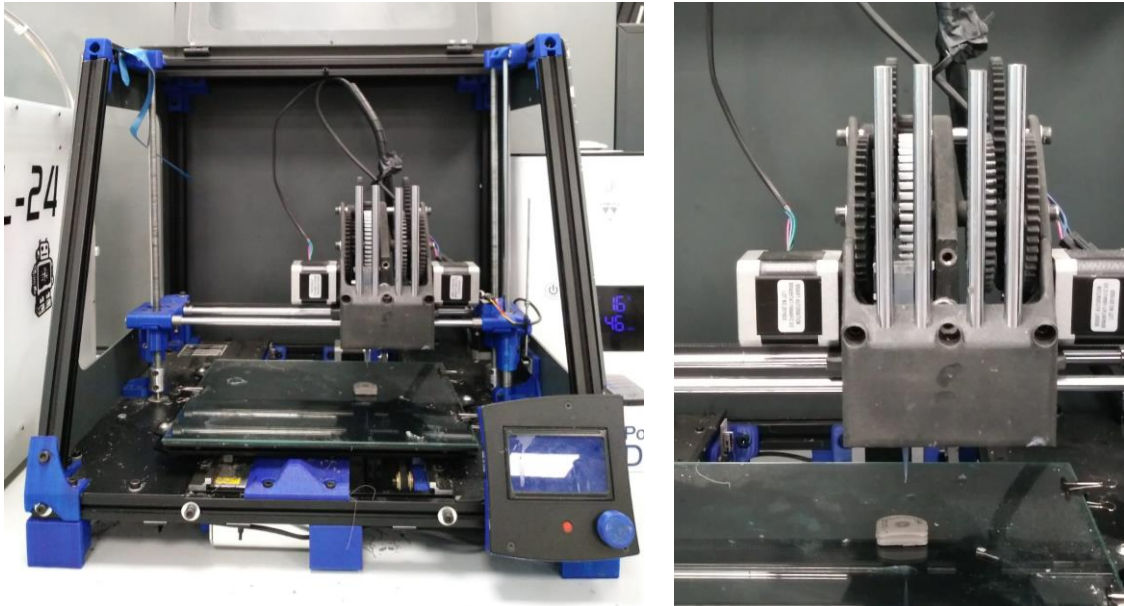


Figura 1.8: Construcció de la peça mitjançant una impressora Fundació CIM UPC - Barcelona Teach. Font pròpia.

La metodologia emprada per la construcció de la peça no és genèrica sinó que varia en funció de la màquina. Aquestes diferències, com es diu a l'apartat. 1.3.1, rau en tres aspectes fonamentals:



Figura 1.9: Impressora 3D Ultimaker . Font pròpia

- a) Material emprat en la fabricació
- b) Mètode de creació de les capes
- c) Mètode d'unió entre les capes

Els materials que poden treballar les impressores 3D són molt diversos (més de 200) i poden ser productes orgànics (ceres, cèl·lules, teixits, aliments), metalls (alumini, titani, acer inoxidable), materials ceràmics (grafit) i polímers (ABS, poliamida, policarbonat) [14]. Segons la complexitat de la màquina de fabricació additiva, n'hi ha que poden combinar materials, fent un objecte rígid en una part i tou en una altra. En la Taula 1.2 es pot veure un resum dels principals materials emprats en fabricació additiva [15]. Així mateix, poden produir components plenament funcionals, incloent mecanismes complexos, bateries, transistors o LED. Aquesta tecnologia es pot ampliar amb força facilitat, com ho demostren les màquines amb un increïble volum de construcció de $4 \times 2 \times 1$ metres [6].

Materials Orgànics	Ceràmics	Plàstics	Metalls
Ceres	Alúmina	ABS (acrilonitril butadieno estirè)	Alumini
Teixits	Muleta	PLA (àcid polilàctic)	Utilatge d'acer
Cèl·lula	Zircònia	PET (polieftalat d'etilè)	Titani
	Carbur de silici	Poliamida (niló)	Inconel
	Fosfat tricàlcic β	Poliamida reforçada	De cobalt-crom
	Resines epoxi carregades amb ceràmica (nano)	PEEK (polietercercetona)	Resines epoxídiques termoenduribles
	Guix	Coure	Acer inoxidable
	Grafit	PMMA (polimetacrilat de metil)	Or / platí
		PC (policarbonat)	Hastelloy
		PPSU o PPSF (polifenilsulfona)	
		Ultem	
		Alumide	

Taula 1.2: Classificació dels principals materials emprats en fabricació additiva. Font: [15]

Un cop la màquina finalitza el procés de fabricació, indica la finalització de la tasca mitjançant senyals auditives i/o visuals. I de la mateixa forma, s'indica si hi ha algun incident que dificulti el funcionament de la màquina.

1.3.2.6. Retirada i neteja de l'objecte construït

Un cop finalitzat el procés de fabricació de la peça, cal que l'usuari, atenent al procés emprat i seguint els passos propis, extregui l'objecte construït. És important, per la seguretat de l'usuari, que aquest conegui la màquina i procés emprat en la construcció i conegui les indicacions rellevants per a la extracció, ja que cada màquina és diferent. A més a més, s'ha d'estudiar la geometria de la peça, ja que també és en funció d'aquesta la manera que s'ha de realitzar la extracció (si disposa d'elements auxiliars de suport per mantenir la integritat de la peça durant la fabricació).

Una vegada s'ha realitzat la extracció, es duu a terme la eliminació de material sobrant del procés de fabricació de la superfície de la peça fabricada mitjançant tècniques com l'ús d'aire comprimit, neteja i posterior assecat o simplement per fricció amb un drap sec, tal com s'aprecia en la Figura 1.10. No obstant, aquesta tècnica s'ha d'estudiar en funció del procés de fabricació que s'ha seguit i del post procés que es vol realitzar [7].

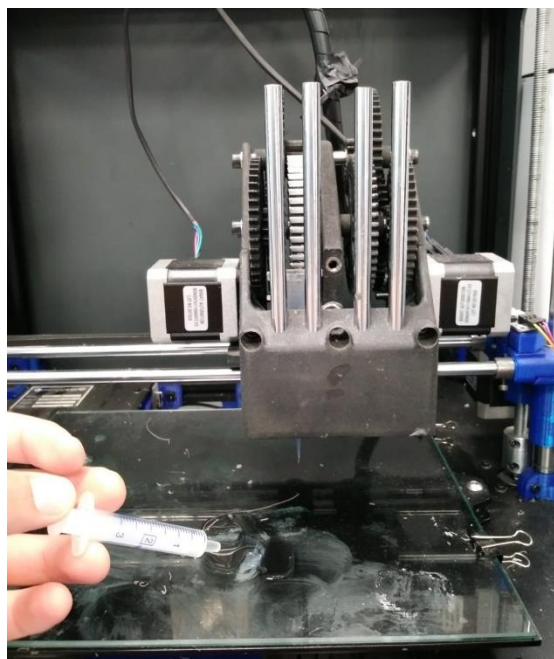


Figura 1.10: Retirada i neteja de l'objecte construït, en aquest cas, mitjançant una xeringa. Font pròpia.

1.3.2.7. Post processament

Un cop realitzada la retirada i neteja de l'objecte, en funció de l'aplicació de la peça, pot ser que aquesta ja es doni per acabada. Per tant, aquesta fase pot ser necessària o no. Els aspectes que intervenen en aquesta decisió són la màquina de fabricació additiva, el material i la aplicació.

No obstant això, una de les característiques de les màquines de fabricació additiva és que les propietats materials de la peça i superficials solen ser anisotròpiques. Això es pot deure a capes que no s'hagin enllaçat correctament o que no s'hagi cristal·litzat el material de forma uniforme. Aquests aspectes contribueixen en imperfeccions de la peça i per tant que no compleixi amb les propietats establertes en un inici. Un dels objectius és fabricar peces que tinguin la qualitat desitjada, on desapareguin diferències entre capes i es tingui un acabament llis i professional [16]. És per això que es duu a terme el post processament per compensar les errades comeses en la fabricació de la peça, tal com mostra la Figura 1.11.

Alguns dels aspectes que es solen rectificar són els següents [7]:

- Acabats superficials mecànics o físics (desbast abrasiu, llimat, polit, etc.)
- Acabats superficials químics o electroquímics (galvanitzat, anoditzat, etc.)
- Recobriments electroquímics (cromat, níquelat, etc.)
- Altres recobriments (pintat, envernissat, etc.)
- Tractaments tèrmics de metalls (trempe i revenint, recuit, etc.)
- Operacions d'assecat o cuit



Figura 1.11: Post processament de la peça construïda. Forn tubular Carbolite amb mufla ceràmica, emprat per tractar tèrmicament petites peces de forma uniforme. Font pròpia.

1.3.2.8. Aplicació

Finalitzats els passos anteriors, la peça ja està preparada per al seu servei. No obstant, en funció de la seva utilitat, ha de passar per controls de qualitat, resistència,... s'han de verificar les propietats per la seva funcionalitat. En la Figura 1.12 es mostra un renderitzat del logotip de la drassana on s'aplica l'estudi del present treball, Astilleros Nicolau.



Figura 1.12: Renderitzat per simular l'objecte construït. Font pròpia

Actualment, es realitzen moltes peces que són prototips o motlles i per tant, la peça ja pot ser utilitzada un cop acabat el post processament. En aquest àmbit de motlles i prototips, la fabricació additiva té moltes aplicacions industrials d'entre les quals es poden destacar aplicacions mèdiques (pròtesis i implants, ja que es poden personalitzar en cada cas) i aeroespacials (sistemes de motors i components no estructurals, ja que es busca la millora del rendiment del combustible mitjançant un millor rendiment i components de pes lleuger[6]). Així doncs, es pot observar com AM no només s'usa per a prototipar, sinó que excedeix la demanda de productes per a usuaris finals des de broquets d'injecció de combustible en l'àmbit aeroespacial, hèlixs en el sector naval o implants de copes acetabulars ortopèdics a la indústria mèdica [17].

Així doncs, aquesta tecnologia ofereix peces úniques, confeccionades per a cada situació, cada necessitat, facilitant la construcció de les peces i eliminant barreres d'estructures complexes. En apartats posteriors es tracta amb més profunditat l'aplicació de la AM en la indústria naval.

1.3.3. Tecnologies de fabricació additiva

La classificació de les tecnologies de fabricació additiva es pot realitzar en funció de moltes característiques. Existeixen diferències entre les tecnologies actuals i convé estudiar-les per tal de saber quina és la més interessant per aquest projecte.

Com ja s'ha comentat a l'apartat 1.3.1 els principals aspectes a valorar en la comparació de màquines de fabricació additiva són: el material emprat en la fabricació, el mètode de creació de les capes i el mètode d'unió entre les capes. D'aquesta manera, recordant la definició de fabricació additiva i relacionant els principals aspectes mencionats, es pot generalitzar que totes les màquines de AM duen a terme la fabricació depositant capes, sigui de la forma que sigui, amb qualsevol material i emprant qualsevol tècnica d'unió entre capes. No obstant això, resulta difícil trobar classificacions que tinguin en compte les tres característiques.

Autors i institucions han proposat diverses classificacions atenent a aspectes de procés, com per exemple com es creen les capes o bé com s'uneixen aquestes. En referència al material, no s'estableixen moltes classificacions, ja que hi ha moltes tipologies de màquines que segueixen diferents processos de fabricació additiva i poden utilitzar el mateix material. Les classificacions, com bé informa Filippi i Barattin [18], són una eina efectiva per a la selecció de la màquina adequada per a realitzar una activitat concreta de disseny. Aquests mateixos autors proposen una classificació diferent a la que es detallarà en el present treball. Mostren cinc processos de fabricació additiva, classificats en funció de divuit característiques. No obstant en el present treball no es farà explicació d'aquesta classificació, ja que és poc usada. Per a més informació es pot consultar la bibliografia [19].

Per començar s'ha preferit fer una petita introducció als principals components que solen caracteritzar les màquines de fabricació additiva. Seguidament, s'ha optat per mostrar una classificació, la més utilitzada en la majoria de llibres i documents acadèmics per intentar classificar i diferenciar les màquines de fabricació additives del mercat actual. Aquesta classificació es basa en el *procés* i és emprada per ASTM. No es tracta d'una classificació rigorosa, ja que es mostra àmplia per abastar les diferents tecnologies de fabricació additiva.

1.3.3.1. Principals components d'una impressora de fabricació additiva

Una impressora 3D inclou un conjunt de components que operen simultàniament per produir la sortida desitjada del fitxer digital d'entrada, els components bàsics d'una impressora 3D s'enumeren a continuació [3]:

1. **Llit o plataforma d'impressió (safata):** Aquesta és la superfície plana on els models 3D es troben en capes durant la impressió. El llit d'impressió pot ser ambiental o escalfat segons els tipus de filaments utilitzats a la impressora. Els llits d'impressió escalfats s'utilitzen per mantenir la secció impresa de la impressió càlida durant el procés de capes per evitar que es deformi [3].

Aquesta plataforma ha d'estar sempre perpendicular al broquet per a afavorir l'adherència entre les capes. A la part inferior hi ha tres cargols que permeten el calibratge del llit, anivellar-lo segons necessitat [20].

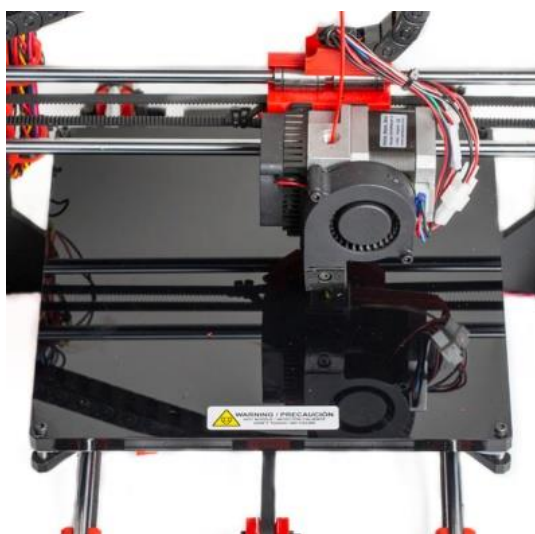


Figura 1.13: Plataforma d'impressió d'una impressora 3D. Font [20]

2. **Extrusora:** L'extrusora és la part que expulsa i alimenta el filament de plàstic (o qualsevol altre filament) al "hot-end". Normalment, les extrusores s'incorporen al hot-end, però en alguns tipus pot ser remot, empenyent el filament a través d'un tub, anomenat cable Bowden, cap al hot-end. En alguns tipus s'utilitza una extrusora dual, que proporciona la possibilitat d'imprimir dos materials diferents al mateix temps.

Aquesta característica afegida té com a resultat un augment del preu, ja que requereix una extrusora addicional i un final extrem.

L'extrusor està format per un motor pas a pas que en el seu eix disposa d'un engranatge de tracció i una politja de pressió fa que el filament premi l'engranatge de tracció i es desplaça cap al hot-end. El motor pas a pas s'empra en màquines en les quals es necessita un control precís de velocitat i desplaçament, com és el cas de la fabricació additiva. El seu funcionament rau en que cada impuls de corrent que rep, es desplaça un determinat nombre de graus.

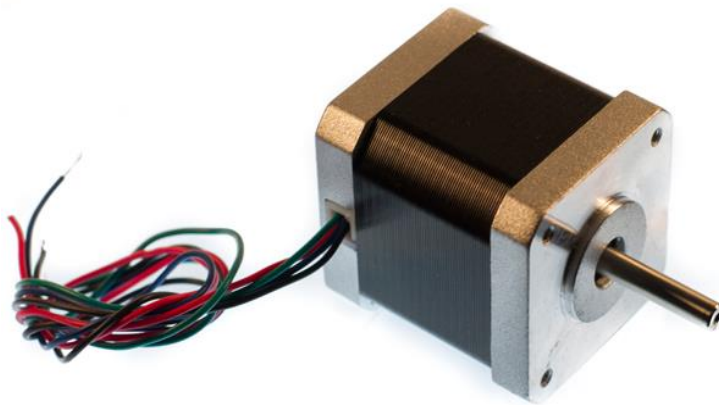


Figura 1.14: Motor pas a pas. Font [20]

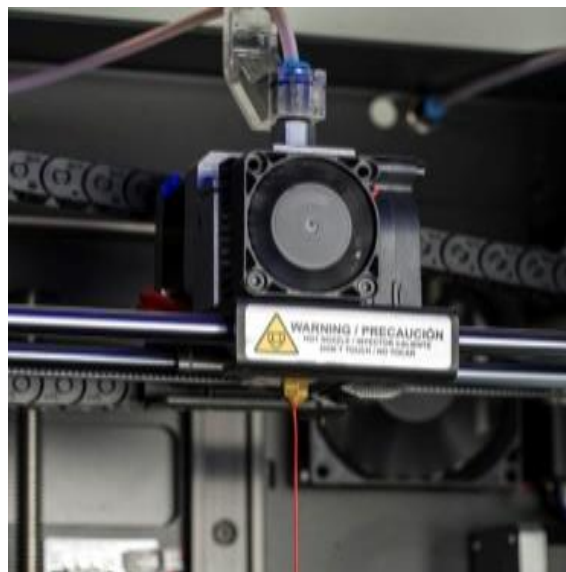


Figura 1.15: Capçal impressora 3D. Font [20]

3. **Hot-end (extrem calent):** El hot-end és l'encarregat de subministrar calor al filament, fins que aquest es trobi en estat semi-líquid per tal que flueixi [20]. Està compost per una font de calor, un sensor de temperatura i una punta d'extrusió on el filament de plàstic s'alimenta per dipositar material fos. El forat de la ranura pot variar de mida, normalment entre 0,2 mm i 0,8 mm. Com més petit sigui el filtre, més detallarà la impressió, però més temps trigarà a apilar les capes més primes [3].
4. **Filament:** El filament és el material d'entrada formulat com a objecte sòlid en 3D per part de la impressora. Com una tinta d'injecció de tinta, una impressora 3D emet un filament fos.

1.3.3.2. Classificació segons ASTM

La classificació segons ASTM és la més emprada en el sector de la fabricació additiva i per a fer referència als diferents processos. Aquesta classificació es denomina: ASTM F2792-12a i es divideix en 7 categories [21]:

1. Foto polimerització de cubeta (*Vat Photopolymerization*)
2. Fusió de llit de pols (*Powder Bed Fusion Processes*)
3. Injecció d'aglutinant (*Binder Jetting*)
4. Injecció de material (*Material Jetting*)
5. Laminació de xapes (*Sheet Lamination Processes*)
6. Extrusió del material (*Material Extrusion Processes*)
7. Deposició d'energia dirigida (*Directed Energy Deposition*)

En la Figura 1.16² [22] es pot observar de forma esquemàtica la classificació segons el procés de les tecnologies de fabricació additiva. Aquesta classificació s'ha realitzat atenent [5] [6] [23], que s'ha comparat i s'ha simplificat per a poder englobar els diferents processos.

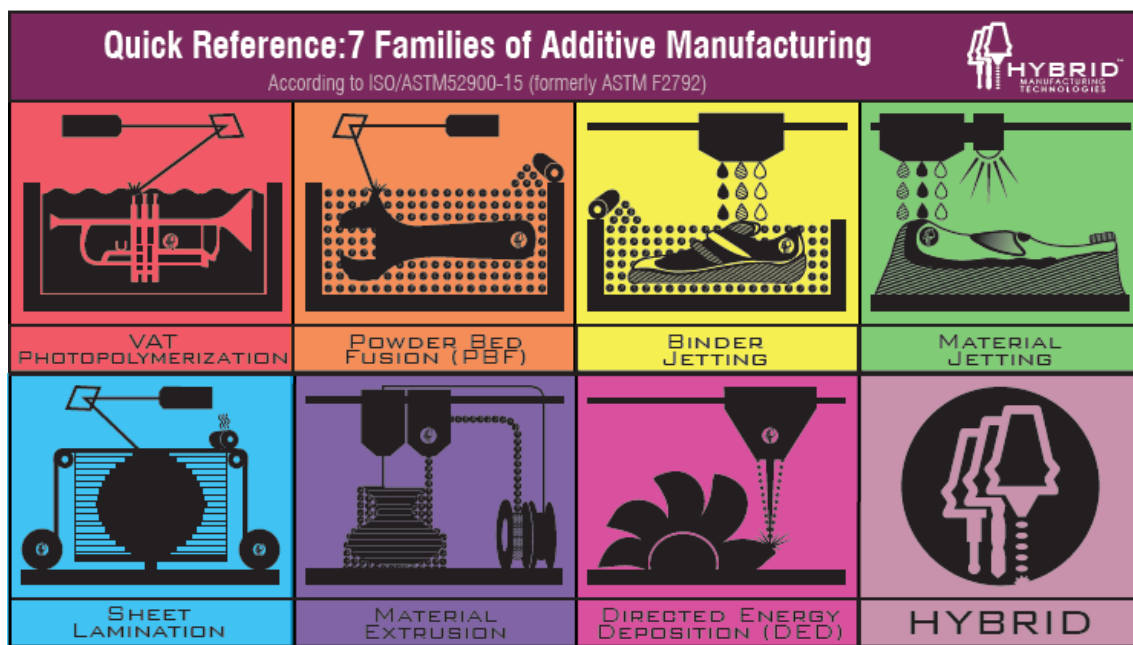


Figura 1.16: Categories de la fabricació additiva segons la classificació ASTM, Font: [22]

A continuació es realitza una breu descripció sobre cada un dels processos mencionats. Les imatges i figures que es mostraran seran un referent genèric de cada procés, per a simplificar i ajudar a veure una visió de la realitat.

A l'inici de l'explicació de cada procés es mostra una taula amb el nom alternatiu, una breu descripció, fortaleeses del d'aquell procés i material emprat en aquella tècnica. Seguidament, es fa una explicació més detallada del procés.

² Veure Annex 1 per a una major resolució de la Figura 1.16.

Foto polimerització de cubeta (Vat Photopolymerization)

La indústria de la fabricació additiva és força recent, de manera que encara no s'ha estandarditzat el vocabulari que designa tot allò que comporta la fabricació additiva. Tot seguit s'indica en la Taula 1.3 els noms emprats pel procés de foto polimerització de cubeta i una síntesi dels aspectes rellevants de la tecnologia.

Foto polimerització de cubeta (Vat Photopolymerization)	
Nom Alternatiu	SLA™- Stereolithography Apparatus DLP™- Digital Light Processing 3SP™- Scan, Spin, and Selectively Photocure CLIP™ – Continuous Liquid Interface Production
Funcionament	Llum solidifica selectivament resina
Descripció	Una cuba de resina fotopolímera líquida es cura a través d'una exposició selectiva a la llum (a través d'un làser o projector) que inicia la polimerització i converteix les zones exposades en una part sòlida.
Fortaleses	<ul style="list-style-type: none"> • Alt nivell de precisió i complexitat • Acabat superficial llis • Accepta zones de construcció grans
Materials habituals	Resines fotopolimeritzables curables per UV (amb diverses càrregues) i polímers.

Taula 1.3: Síntesis dels aspectes més importants de la Foto polimerització de cubeta. Font [24] [21][25]

El procés consisteix en, mitjançant un feix d'energia, generalment làser o UV, polimeritzar d'un bany de polímer fotosensible la superfície. Després, es cobreix amb polímer líquid la capa solidificada i es repeteix el procés [25].

Els processos de fotopolimerització engloben diferents tecnologies de fabricació additiva, tenint en comú que fabriquen la peça mitjançant una resina fotopolimerizable sense curar en estat líquid. Aquesta resina es troba en un recipient, d'aquí el nom de “vat”. Junt al recipient hi ha una plataforma, a una altura superior a la última capa de material. El moviment d'aquesta plataforma proporciona la resolució en l'eix Z de la màquina.

Es disposa de miralls que reben llum ultraviolada d'una font i la transmeten a la resina en estat líquid, proporcionant amb el seu moviment, el control del pla X – Y, afavorint així la creació de

les diferents capes de la peça. Per tant, el diàmetre del feix de llum a la superfície de la resina proporciona la resolució als eixos X-Y de la màquina [7].

També es disposa d'un element en aquesta màquina que s'encarrega de netejar la superfície fent un escombrat per mantenir la capa de líquid següent uniforme.

Finalment, un cop finalitzada la peça, la qual es troba submergida, s'ha d'extreure del recipient i fer els acabats pertinents. A continuació es mostra la Figura 1.17 de forma il·lustrativa del procés de fotopolimerització [26].

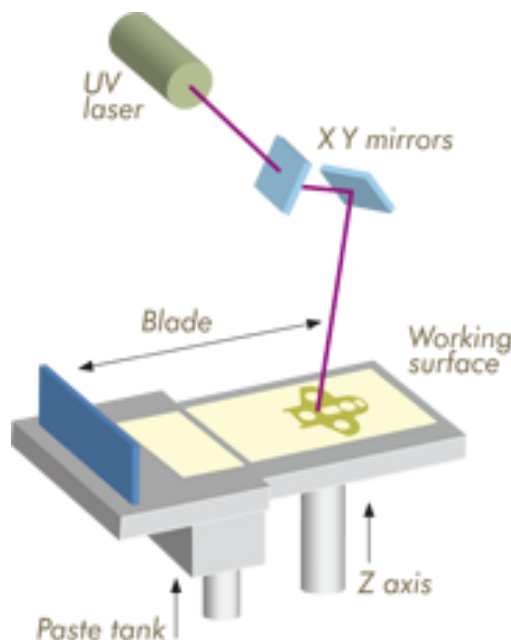


Figura 1.17: Esquema il·lustratiu del procés de fotopolimerització. Font [26]

Aquesta tecnologia principalment s'empra per a desenvolupar prototips i models. També s'usa en el desenvolupament de motlles per a processos posteriors degut a les propietats de la peça acabada.

Un dels principal avantatges d'aquest procés, és l'acabat superficial i la precisió geomètrica respecte el disseny inicial, tal com es pot observar en la Figura 1.18. [27], la qual mostra l'acabat d'una peça. El procés d'impressió és relativament ràpid i actualment hi ha màquines que permeten imprimir peces de fins a 20 kg [25].

El principal inconvenient és el preu del material base i que actualment es disposa de poca varietat. Un altre inconvenient, degut a que el material base és un líquid, és que per a generar geometries més complexes, és necessari imprimir estructures de suport, cosa que per exemple en la base de pols no és necessària. Finalment, cal destacar que el procés de polimerització a partir d'un líquid pot generar defectes interns i porositats, que afecten a les propietats del component. Moltes vegades és necessari un processat posterior per a millorar les propietats de la peça [25].



Figura 1.18: Detall d'una peça confeccionada pel mètode de fotopolimerització. Font: [27]

Fusió de llit de pols (Powder Bed Fusion Processes)

El procés que es duu a terme en la fusió de llit de pols és molt similar als processos d'impressió mitjançant injecció d'aglutinant. Les tecnologies PBF es basen en un recipient per a la construcció de la peça ple de matèria prima distribuït de forma homogènia. Es disposa d'un sistema d'aplicació d'energia que crea un sòlid en la capa superficial del recipient. Finalment es disposa d'un element que s'encarrega d'escombrar la superfície dels recipients i homogeneïtzar el material. Un cop es crea una capa de sòlid, més matèria prima recobreix aquesta capa i es repeteix el procés [25][7]. A la Taula 1.4 es presenta una síntesi dels aspectes rellevants de la tecnologia de fusió de llit de pols.

Fusió de llit de pols (<i>Powder Bed Fusion Processes</i>)	
Nom Alternatiu	SLS™- Selective Laser Sintering; DMLS™-Direct Metal Laser Sintering; SLM™- Selective Laser Melting; EBM™- Electron Beam Melting; SHS™- Selective Heat Sintering; MJF™- Multi-Jet Fusion
Funcionament	Llum solidifica selectivament resina energia
Descripció	Els materials en pols s'hi consoliden selectivament fent-los junts utilitzant una font de calor com un feix de làser o d'electrons. El pols no fos que envolta la part consolidada actua com a material de suport per a les funcions que sobresurt.
Fortaleses	<ul style="list-style-type: none"> • Alt nivell de complexitat • La pols actua com a material de suport • Àmplia gamma de materials
Materials habituals	Pols de plàstics, metalls i ceràmiques i sorra. Són materials en forma de pols, principalment metalls i aliatges, materials compostos, ceràmics, termoplàstics i elastòmers termoplàstics.

Taula 1.4: Síntesis dels aspectes més importants de la Fusió de llit de pols. Font [24] [21] [25]

El principal aspecte que diferencia aquesta tecnologia és que la matèria prima és pols. Les fonts d'aplicació d'energia són el làser o un feix d'electrons. Un recipient conté pols d'un material, mitjançant una font de calor es fonen selectivament certes zones de tal manera que la pols es torna líquid i s'uneix a la pols fos adjacent, tal com es pot veure en la Figura 1.19 [28]. Una vegada ja s'ha solidificat s'obté una capa de material sòlid, i un mecanisme fa baixar la superfície de treball i estén una altra capa de pols de matèria prima sobre l'anterior.

Existeix una diferència fonamental amb el procés d'impressió mitjançant la injecció d'aglutinant i és la forma en què la màquina uneix el material en forma de pols, ja que aquest procés és realitzat mitjançant l'ús d'un làser per escalfar localment la zona la qual es realitza la fusió o sinterització del material. El feix és dirigit per realitzar aquesta fusió, enllaçant i així creant successivament les capes i la geometria de la peça [7].

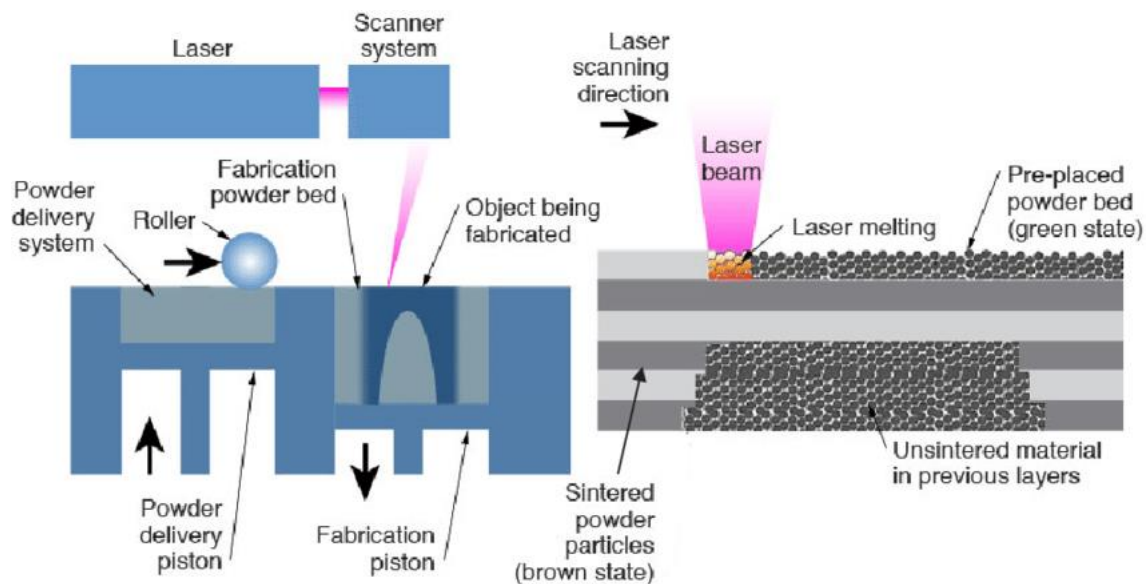


Figura 1.19: Esquema del procés de fusió de llit en pols (PBF). Font: [28]

Aquesta tècnica és la més indicada per a la fabricació de peces metàl·liques (sinteritzant-les o fonent-les) o polimèriques (mitjançant la sinterització) tot i que també és possible emprar pols de ceràmiques que puguin ser sinteritzades. Les peces produïdes d'aquesta manera solen requerir d'alguns processos específics de post-processat per eliminar alguns dels desperfectes en la seva estructura interna (principalment porositats).

Com s'ha comentat a la Taula 1.4, les tecnologies PBF permeten treballar amb un ampli rang de materials, des de polímers termoplàstics fins metalls. En el camp dels metalls és la tecnologia més utilitzada per al desenvolupament de nous components, per davant de les tecnologies DED. La majoria de màquines PBF estan pensades per a treballar sota una atmosfera controlada, ja sigui en buit, com en les màquines EBM, o sota gas inert; aquest fet permet treballar metalls com l'acer i metalls i aliatges de processament més complex, com les de titani o cobalt [25].

La tecnologia de Fusió de llit de pols, permet desenvolupar peces amb gran complexitat geomètrica, ja que el pols fa de suport i així es facilita la construcció de la pròpia peça. Al mateix temps, aquesta tecnologia proporciona un gran nivell d'acabat i una alta precisió, tal com es pot veure en Figura 1.20 [29].

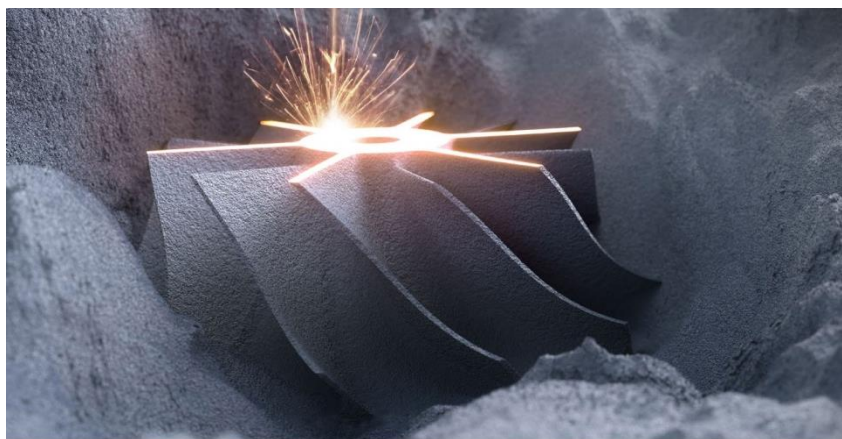


Figura 1.20: Detall d'una peça confeccionada pel mètode de PBD. Font: [29]

A més, amb aquesta tecnologia no es solen emprar estructures auxiliars de suport. El llit de pols on es troba la peça acostuma a ser suficient per a realitzar la construcció de la peça sense el suport d'altres estructures, aspecte que resulta avantatjós [7].

No obstant això, aquesta tecnologia també presenta inconvenients, com ara que la mida dels components que es poden obtenir depèn de la mida del recipient que conté la pols. Així doncs, per obtenir grans peces caldria disposar d'una màquina de grans dimensions, cosa que implicaria un cost molt elevat, més complicacions tècniques i un elevadíssim consum de pols. En aquest aspecte, la tecnologia DED, surt avantatjosa ja que l'únic important és el capçal, encarregat de dipositar el material, l'energia i, si cal, l'atmosfera controlada[25]. Així que els requeriments tècnics del sistema per poder generar peces de grans dimensions són molt inferiors a les màquines de llit de pols. Una altra manca és la impossibilitat actual de treballar amb més d'un material i la dificultat d'utilitzar aquesta tecnologia per a l'addició de parts a components ja creats, o per a la reparació de peces. Així doncs, resulta poc factible fabricar una peça utilitzant diferents materials amb aquesta tecnologia.

Injecció d'aglutinant (Binder Jetting)

En els processos d'impressió hi ha el procés d'injecció de material i el d'injecció d'aglutinant. Ambdós comparteixen el procés tradicional d'impressió, similar a la injecció de tinta tradicional. En la Taula 1.5 es presenta una síntesi dels aspectes més rellevants d'aquesta tecnologia.

Injecció d'aglutinant (Binder Jetting)	
Nom Alternatiu	3DP™- 3D Printing ExOne Voxeljet
Funcionament	Aglutinant per unir peces
Descripció	Els agents d'enllaç líquids s'apliquen selectivament sobre capes fines de material en pols per formar part de capes per capa. Els aglutinants inclouen materials orgànics i inorgànics. Les peces en pols metàl·liques o ceràmiques solen desaparar-se en un forn després de ser impreses.
Fortaleses	<ul style="list-style-type: none"> • Permet la impressió a tot color • Alta productivitat • Utilitza una àmplia gamma de materials
Materials habituals	Plàstic en pols, metall, ceràmica, vidre i sorra.

Taula 1.5: Síntesi dels aspectes més importants de la Injecció d'aglutinant. Font [24] [21] [25]

En referència al procés d'injecció d'aglutinant, es difereix perquè el material que s'injecta és aglutinant o adhesiu líquid, subministrat pel dipòsit del capçal. El material emprat es troba en forma de pols, afavorint la opció d'escollir tipologies de pols. No obstant això, només es pot emprar un tipus de material al mateix temps, cosa que dificulta fabricar peces compostes de diversos materials.

Els processos de tipus injecció d'aglutinant, Figura 1.21 [30], són una barreja entre la injecció de material i la fusió de llit de pols. El capçal va aplicant de forma selectiva el líquid aglutinant sobre una capa de pols de tal manera que s'aconsegueix un aglomerat de líquid curat i pols amb la forma de la secció transversal de la peça. Un cop s'acaba la capa, la màquina estén una nova capa de pols i es repeteix el procés.

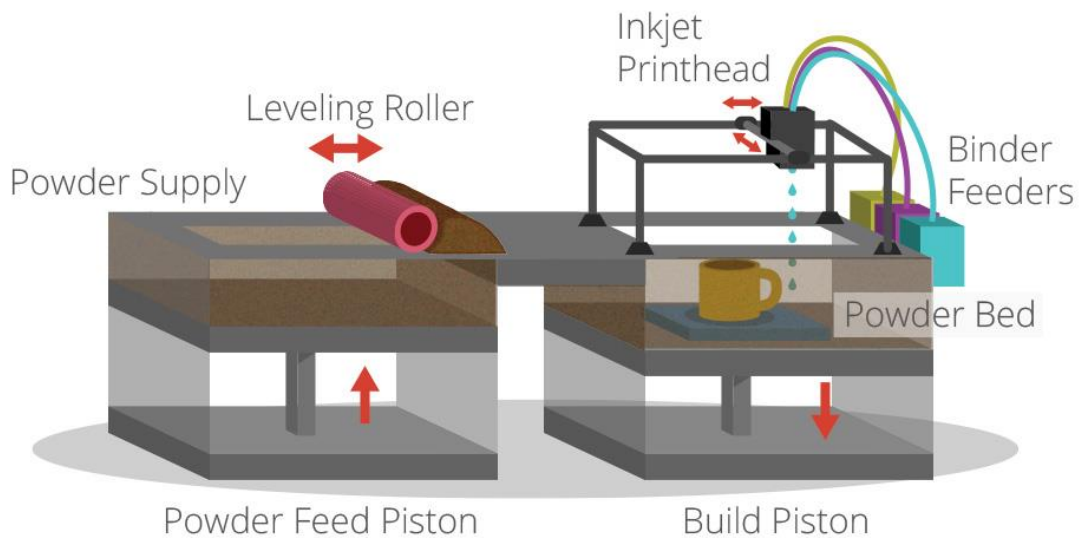


Figura 1.21: Esquema del procés d'injecció d'aglutinant. Font: [30]

En quant al procés, aquesta tipologia de màquines, disposen de dos recipients. De forma genèrica, un és l'espai on es conforma la peça, sobre on hi és el capçal de la màquina oferint dimensió en el pla X-Y. El segon recipient conté el material en pols amb el qual es fabrica la peça. En cas que la màquina tingui la opció d'escollir altres materials, aquesta disposa de més recipients per a cada un d'ells, tenint present que no es pot emprar més d'un material al mateix temps [7].

Ambdós recipients disposen d'un eix vertical que els permet el moviment en l'eix Z, oferint així la tridimensionalitat de la peça que es confecciona. Els dos recipients tenen moments verticals oposats. El recipient que subministra el material, mentre la peça es confecciona, va pujant; mentre que el recipient on es fa la peça, va baixant permetent així la construcció d'aquesta en l'eix Z.

Es trasllada el material des del recipient del material a la safata, el capçal disposa aglutinant sobre aquest pols per a definir la geometria de la capa. Per a treballar sobre la següent capa, la plataforma al recipient de construcció es desplaça cap a baix, mentre que més material serà estès des del segon recipient. Aquest procés es repeteix fins acabar la fabricació de la peça.

Un cop es finalitza la construcció de la peça, s'ha de retirar de la safata de construcció i netejar el pols sobrant, el qual es pot retornar a la safata de subministrament de material per a realitzar una fabricació posterior.

Amb aquest tipus de tecnologia es pot treballar una gran varietat de materials, a més de produir peces de colors. En el cas dels metalls, cal un treball posterior per donar-li propietats mecàniques, ja que la peça formada per pols aglomerat és fràgil a causa de la quantitat de porus al seu interior, veure Figura 1.22 [31]. Un procés que fomenta la unió dels grans mitjançant la sinterització és el forn en el cas dels materials metàl·lics. En el cas dels ceràmics, es sol emprar cuits en forns [7]. En el cas del plàstic, no sempre és necessari un treball posterior. La majoria de casos simplement s'ha d'efectuar una neteja del material sobrant o posar una capa protectora per enfortir la superfície [32]., és a dir un segellat per a augmentar la resistència i l'acabat superficial.

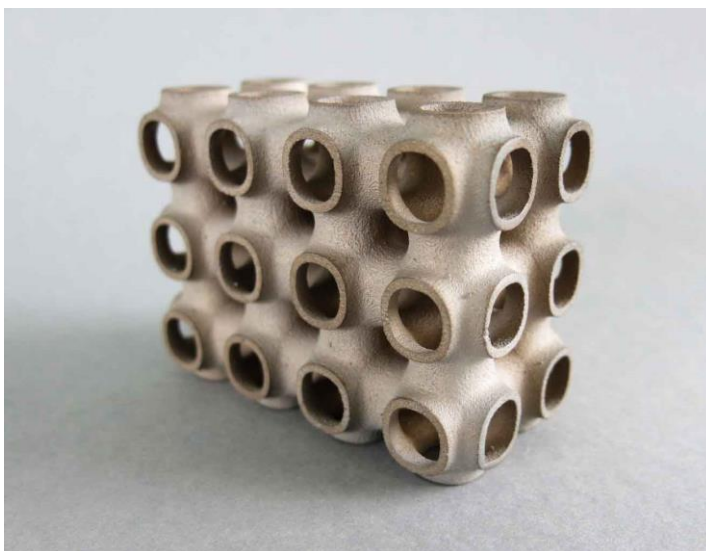


Figura 1.22: Detall d'una peça confeccionada pel mètode d'injecció d'aglutinant. Font: [31]

Així doncs, es veu patent que calen operacions de post processament, orientades principalment a augmentar la integritat de la peça, ja que la resistència d'aquesta pot ser fràgil degut a la estructura interna.

Com ja s'ha anat comentant, es pot emprar una gran varietat de materials, segons l'aplicació de la peça. Generalment, sempre com agent aglutinant la resina, amb propietats adhesives o curable davant alguna font d'energia (llum, calor...). En referència al material base es pot utilitzar pols polimèric, per al desenvolupament de models, prototips, etc.; metalls, podent obtenir peces d'aliatges fèrries i no-fèrries, també per a prototipatge o ornaments; i sorra, per a realitzar motlles conjuntament amb l'aglutinant.

Aquesta tecnologia presenta uns avantatges entre els quals cal dir que destaca per la seva velocitat de fabricació, dins l'àmbit de fabricació additiva, juntament amb la fusió de llit de pols. A més a més, pot treballar amb gran varietat de material en pols. Un altre avantatge és que el material en forma de pols no aglutinat que hi ha al recipient de construcció, actua al mateix temps com a material de suport, aspecte que evita necessitar estructures addicionals de suport.

El principal inconvenient de les peces obtingudes per aquest mètode de fabricació és que es tracta de pols aglutinada i adherida capa a capa, sense cap tipus de transformació física o química. Això fa que les peces no tinguin propietats mecàniques útils, el que fa necessari un procés posterior sobre el component fabricat per donar-li algun tipus de propietat [7].

Injecció de material (Material Jetting)

Tal com s'ha explicat en el punt anterior, en els processos d'impressió hi ha el procés d'injecció de material i el d'injecció d'aglutinant els quals comparteixen el procés tradicional d'impressió. És a dir, el procés de fabricació de la peça és similar al funcionament de les impressores de tinta sobre paper, les quals dipositen tinta gota a gota sobre el paper mentre que les impressores 3D dipositen material fluid gota a gota sobre la superfície. Aquest material acostuma a ser cera o polímers fotosensibles [25]. A la Taula 1.6 es mostra, de la mateixa manera que en les tecnologies presentades anteriorment, una síntesi dels aspectes més importants de la injecció de material.

Injecció de material (Material Jetting)

Nom Alternatiu	Polyjet™ SCP™- Smooth Curvatures Printing MJM - Multi-Jet Modeling ProJet™
Funcionament	Deposició de gotes
Descripció	Les gotes de material es dipositen capa per capa per fer peces. Entre les varietats més habituals es troben la resina fotocurable i la curació amb llum ultraviolada, així com la introducció de material fos tèrmicament que després es solidifica a temperatures ambientals.
Fortaleses	<ul style="list-style-type: none"> • Alt nivell de precisió • Permet obtenir peces a tot color • Permet múltiples materials en una sola part
Materials habituals	Fotopolímers, polímers, ceres

Taula 1.6: Síntesis dels aspectes més importants de la Injecció de material. Font [24] [21] [25]

El capçal conté en el seu interior el material emprat per a la realització de la peça i s'encarrega de dipositar-lo sobre una superfície. En la Figura 1.23, [33], es pot veure un sistema amb un capçal que injecta un material que va conformant la peça. Integrat al capçal hi ha uns injectors que poden ser puntuals o allargats en una dimensió, el qual ejecta el material [7]. L'estructura que caracteritza el material, permet el control del moviment en el pla X-Y, mentre que el control de l'eix Z està determinat per la plataforma constructora.

La forma, nombre i disposició dels injectors del capçal proporcionen la resolució en el pla XY i els moviments de la plataforma i el moviment d'escombrat del capçal (combinació de velocitat d'escombrat i cabal de material injectat) proporcionaran la resolució en l'eix Z [7].

Un cop dipositat el material, es polimeritza o cura mitjançant una font de calor o llum. Com que es tracta d'un procés basat en la deposició gota a gota, és difícil utilitzar materials ceràmics o metalls encara que existeixen investigacions en aquesta línia. Els materials utilitzats per a la injecció de material són diversos tipus de plàstics i ceres; els més típics són el HDPE, PP, PMMA, ABS, entre d'altres [25].

Un avantatge d'aquest sistema és que la injecció de material permet impressions amb més d'un material. Aquesta necessitat pot ser deguda perquè es necessiti un material de suport per a la construcció de la peça (algun element estructural) o per acoblar durant la impressió dues o més peces de diferents materials i així evitar processos posteriors d'acoblament...

A més, es poden canviar els capçals, de manera que es poden crear peces amb capes de diferents materials, sempre que puguin ser unides. Un mateix capçal pot contenir diversos materials que es poden injectar a la vegada, com per exemple, el material auxiliar amb el qual són fabricades les estructures de suport.

També cal destacar l'acabat superficial de les peces, ja que és pràcticament inexistent la tasca de post processament. La peça fabricada té un gran nivell de similitud i exactitud respecte la peça fabricada. Això permet que aquesta tecnologia sigui la més emprada per al desenvolupament de motlles.

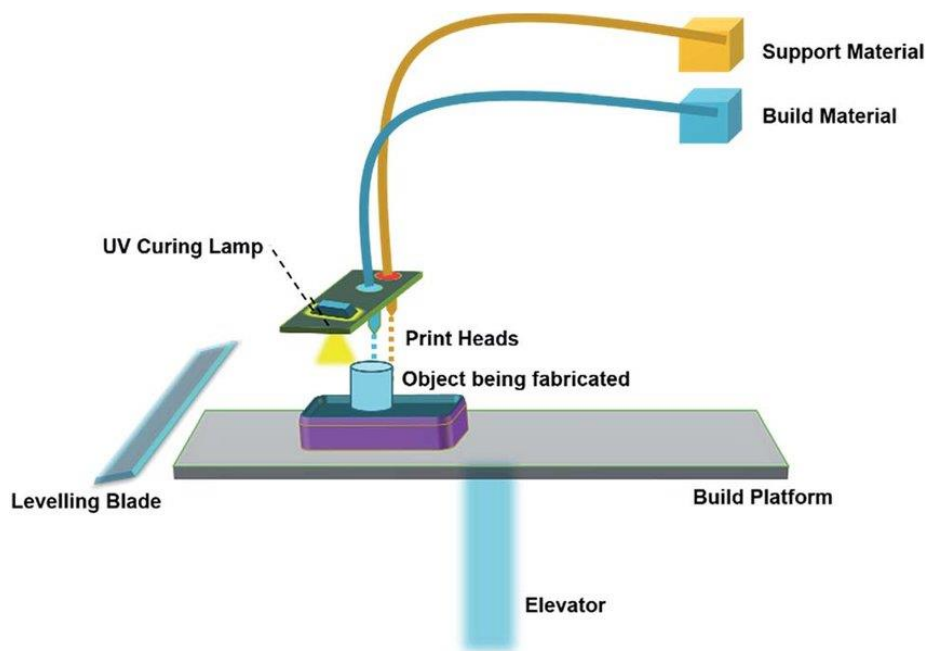


Figura 1.23: Esquema del procés d'injecció de material. Font: [33]

No obstant això, hi ha poca varietat de materials que poden ser emprats, només alguns polímers i cires poden ser emprats en aquesta tipologia de maquinària, segons un requisits preestablerts. La poca variabilitat de materials, dificulta que es pugui escollir aquells que tenen unes altes propietats mecàniques.

Laminació de xapes (Sheet Lamination Processes)

La tecnologia de laminació de xapes és diferent als altres processos de fabricació que prèviament s'han anat descrivint. Difereix substancialment degut a què les capes que componen la peça ja han estat fabricades anteriorment mitjançant altres processos. Normalment, aquests altres processos són mètodes de fabricació convencionals. És a dir, el material és subministrat en forma de làmines o xapes (en el cas de metalls) prefabricades que componen les capes de la peça i el gruix serà el gruix de la capa o resolució en l'eix Z de la peça final. La màquina serà l'encarregada de tallar de cada secció de làmina la geometria de la peça corresponent a aquesta capa i unir-les entre sí [7]. Es mostra una síntesi dels aspectes més rellevants de la laminació de xapes en la Taula 1.7.

Laminació de xapes (Sheet Lamination Processes)	
Nom Alternatiu	LOM - Laminated Object Manufacture SDL - Selective Deposition Lamination UAM - Ultrasonic Additive Manufacturing
Funcionament	Talls de làmines que s'uneixen
Descripció	Els fulls de material s'apilen i es laminen junts per formar un objecte. El mètode de laminació pot utilitzar adhesius o enllaços químics (paper / plàstics), soldadura per ultrasons o soldadura (metalls). Les regions innecessàries normalment es tallen capa per capa i es treuen després que l'objecte s'hagi construït.
Fortaleses	<ul style="list-style-type: none"> • Elevades taxes de construcció volumètrica • Cost relativament baix (no metàl·lics) • Permet la combinació de làmines metàl·liques, incloent components incrustats.
Materials habituals	Paper, xapes de plàstic i làmines de metall / cintes

Taula 1.7: Síntesi dels aspectes més importants de la laminació de xapes. Font [24] [21] [25]

En aquesta tecnologia, ja que la naturalesa d'aquest procés és diferent, no es parla de resolució en el es eixos X-Y, degut a que cada capa no és fabricada ni unida entre sí per la

màquina. No obstant això, es disposa d'un element que talla la làmina per tal de definir la geometria de la peça i presenta resolució en els eixos X-Y.

Així doncs, es pot dir que els processos per laminació de xapes es basen en la superposició de materials en forma de làmina, units de diverses formes depenent del material de les làmines, de tal manera que s'obté un sòlid complet en tres dimensions. En la Figura 1.24 [34] es pot observar el procés de laminació i fabricació de la peça.

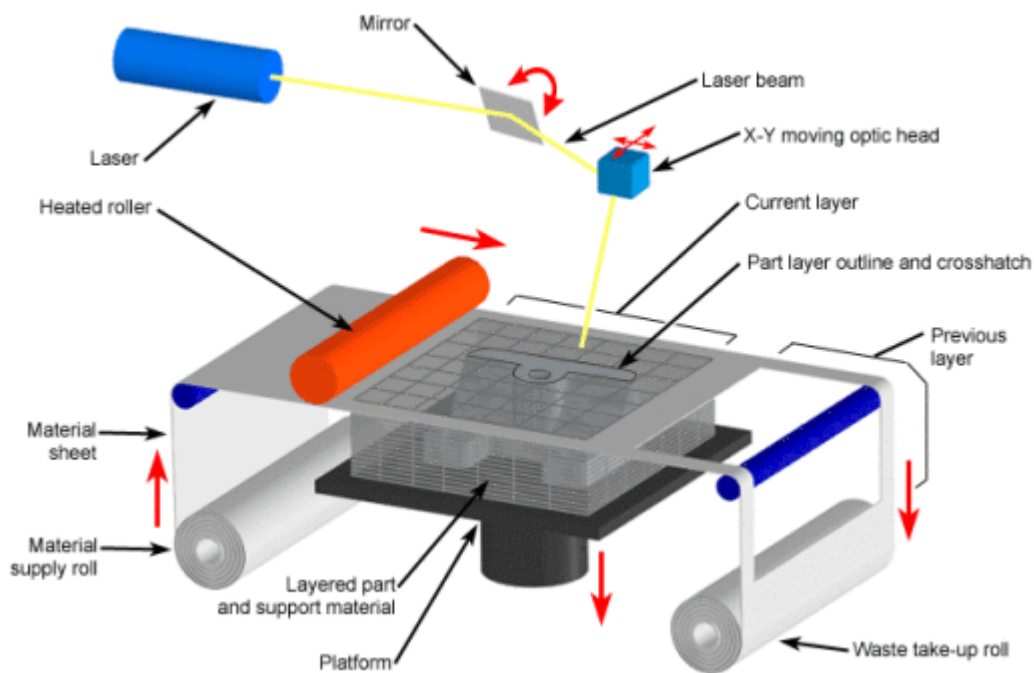


Figura 1.24: Esquema del procés de laminació per xapes. Font: [34]

Amb aquest procés poden obtenir diferents objectes per laminació additiva emprant diferent tipologia de material, com ara paper, plàstic i metall, a través d'una xapa metàl·lica. Generalment, qualsevol material que pugui ser conformat en forma laminada és pot emprar amb aquesta tecnologia. Un dels primers materials emprats per aquesta tècnica va ser el paper, però amb la innovació i nous estudis, s'empra també metall a través d'una xapa. Aquesta xapa es talla segons la secció transversal i s'uneix a la capa inferior i mitjançant adhesiu o soldadura, es van unint les diferents capes. Aquest procés de treballar amb metall implica després un treball de post processat on s'ha de mecanitzar la peça per tal d'obtenir la geometria dissenyada. També hi ha màquines que treballen amb metalls, a més hi ha la

possibilitat de generar peces multimaterial, ja que qualsevol metall soldable pot ser utilitzat, així que es poden intercalar làmines de diferents materials segons les necessitats.

Hi ha diferents tipus de màquines i processos per a aquesta tecnologia depenent del material que s'empri per a la fabricació de la peça. Les màquines que utilitzen làmines metàl·liques (xapes), disposen d'uns tambors cilíndrics amb el material enrotllat, el qual es condueix cap a un altre tambor on de nou s'enrotlla una vegada que la màquina emprat el material necessari [25].

Com s'ha comentat es necessita tecnologia de tall, que depèn del material que estiguin fabricades les làmines. Les màquines que utilitzin xapes tenen un sistema de làser guiat per miralls i un capçal òptic, com la il·lustració mostrada a la Figura 1.24. Aquest sistema s'encarrega de tallar la geometria que delimita cada capa a la xapa. Si el material es paper o cartró, l'eina de tall pot ser un sistema de fulla per tal de definir la geometria [7].

Les unions entre les capes són diferents en funció del material laminat. Si es tracta de xapes laminades de metall, la unió pot ser mitjançant sistemes mecànics com reblons, cargols i femelles,... Si es tracta de materials compostos com la fibra de carboni o termoplàstics, es poden enllaçar aplicant una font de calor. Els plàstics, el paper i el cartró solen requerir material adhesiu per unir les diferents capes entre sí.

Un avantatge que cal destacar d'aquesta tecnologia és la velocitat. Les capes s'obtenen de forma ràpida, ja que només cap taller pel contorn de la secció. A més a més, els materials laminats són altament coneguts i emprats des de fa anys. Obtenir un material laminat és senzill i habitual, aspecte que resulta més econòmic que per exemple si es necessita material de pols. També es pot treballar amb més d'un material. Aquest és un aspecte fonamental en els metalls, ja que en estar units en estat sòlid, s'evita que tinguin posteriors defectes de solidificació en la zona afectada tèrmicament [7].

A diferència d'altres màquines de fabricació additiva, aquesta tecnologia necessita estructures de suport en la fabricació de la peça i que es van conformant de forma paral·lela. Aquest fet aporta un grau més de complexitat a la construcció i disseny de la peça. Un altre desavantatge que cal mencionar d'aquesta tècnica, és que aquesta tecnologia genera un gran volum de material desaprofitat. Per això, en realitzar el disseny de la peça, es procura maximitzar l'àrea de cada làmina per fabricar les capes. I és per això que a vegades es poden veure construccions de diferents peces de forma simultània en la mateixa màquina.

Però principalment, el seu principal desavantatge són els acabats, més bastos que en altres tecnologies a causa del gruix de les capes. Això fa necessari un procés d'acabat posterior que en materials com el metall, requereix més recursos i temps, ja que hi ha dificultats com la porositat, defectes superficials de laminació,... aspectes que podrien afectar a les propietats finals de la peça.

Extrusió del material (Material Extrusion Processes)

Aquesta tecnologia es caracteritza per seguir un procés d'extrusió. En un principi s'anomenava Modelat per deposició fosa - FDM (*Fused Deposition Modeling*), nom ofert per l'empresa que va començar a comercialitzar la màquina, *Stratasys*. A la Taula 1.8 es presenta una síntesis dels aspectes rellevants d'aquesta tecnologia.

Extrusió del material (Material Extrusion Processes)	
Nom Alternatiu	FFF - Fused Filament Fabrication FDM™- Fused Deposition Modeling
Funcionament	Filament extruït per un orifici
Descripció	El material s'extrudeix a través d'un broquet o orifici de pistes o comptes, que després es combinen en models multicapa. Les varietats comunes inclouen l'extrusió termoplàstica escalfada (similar a una pistola de cola calenta) i la dispensació de xeringues.
Fortaleses	<ul style="list-style-type: none"> • Econòmic • Permet múltiples colors • Es pot utilitzar en un entorn d'oficina • Les peces tenen bones propietats estructurals
Materials habituals	Filaments i pellets termoplàstics (FFF); Líquids i llots (tipus de xeringa)

Taula 1.8: Síntesis dels aspectes més importants de la extrusió de material. Font [24] [21] [25]

A diferència dels altres processos de fabricació additiva, en aquest es busca donar fluïdesa i una viscositat estudiada a la peça mitjançant la extrusió. Es transmet el material a través d'un difusor i és l'injector qui finalment deposita el material sobre la plataforma capa a capa. En la

Figura 1.25 [35] es pot veure com s'extrudeix el material fos i es deposita selectivament segons el desplaçament programat del capçal, generant capes amb la forma de la secció transversal de l'objecte a construir.

El procés s'inicia a partir d'un material en forma de filament disposat en bobines, el qual es fon a través d'un filtre abans de ser dipositat i posteriorment es solidifica en la superfície de treball adherint-se al material contigu [25]. El material es pot subministrar de forma granular i sortir per l'injector de forma contínua o en gotes discretes segons el disseny de la màquina [7].

S'ha de controlar que els materials que tenen el cert grau de viscositat adequat per a la fabricació de la peça segueixin en aquest estat de viscositat fins a ser subministrats. En canvi, hi ha altres materials com les ceres o els termoplàstics que necessiten resistències just abans de passar pel difusor a l'interior del capçal a fi d'aconseguir la viscositat adient per a dur a terme la fabricació [7]. Hi ha materials particulars com és el cas del formigó que necessiten eines i processos específics.

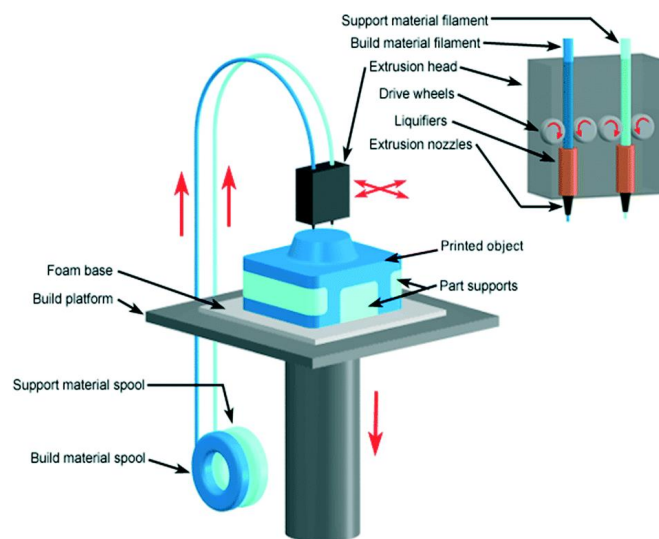


Figura 1.25: Esquema del procés d'extrusió del material. Font: [35]

La viscositat requerida per aquest procés de fabricació, permet que la solidificació del material sigui ràpida, de manera que la unió entre capes es produeix de forma natural. Les peces solen tenir una resistència acceptable. La fortalesa d'unió entre capes permet emprar aquests processos per fabricar peces amb bons acabats superficials evitant una etapa excessiva de post processament.

De la mateixa manera que els processos anteriors, és un eix vertical qui proporciona resolució en l'eix Z, oferint un moviment descendent mentre es van creant les diferents capes fins la finalització de la peça. El capçal és l'element que proporciona dimensió en el pla X-Y de la peça, i va injectant el material de forma contínua o discreta en funció de les necessitats de la capa que s'està creant. La resolució en aquest pla es determina pel diàmetre de sortida de l'injector.

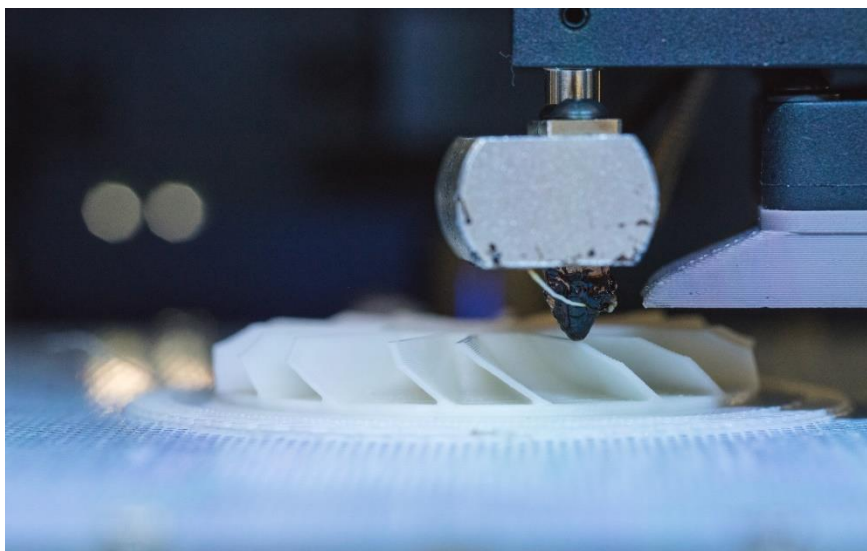


Figura 1.26: Detall d'una peça confeccionada pel mètode d'extrusió del material mitjançant un termoplàstic. Font: [36]

Pel que fa al material, els termoplàstics són els més emprats per aquesta tecnologia, tal com es pot veure en la Figura 1.26 [36]. Els polímers més comuns són el PLA, PC i ABS. Moltes impressores d'aquesta tecnologia d'extrusió, permeten la impressió d'altres materials. Es destaquen dos motius principals. El primer és per a fabricar estructures auxiliars de suport per geometries que tenen una alta complexitat. En segon lloc, s'empren altres materials pel pas d'extracció i neteja, ja que les peces fabricades s'han de poder desprendre de la base sense causar cap dany en quedar-se adherides a la plataforma constructora. Aquests materials de suport o per ajudar a la extracció, acostumen a ser solubles en algun medi a fi de poder desprendre aquest suport de la peça principal. No obstant, hi ha impressores on el material de la peça és el mateix que el material de suport, aspecte que fa que sigui necessari realitzar operacions de mecanitzat posteriors.

Un avantatge que cal destacar d'aquesta tecnologia és que es tracta d'un procés de fabricació econòmic a nivell industrial. A més a més, es poden realitzar peces amb geometries complexes, amb el suport d'altres estructures, tal com s'ha comentat.

No obstant això, la resolució en l'eix Z, en comparació amb altres tècniques de fabricació, resulta menys eficient, necessitant un treball d'acabat si la peça requereix una qualitat superficial determinada. En aquests casos, s'incrementa el preu del cost i el temps de producció de la peça.

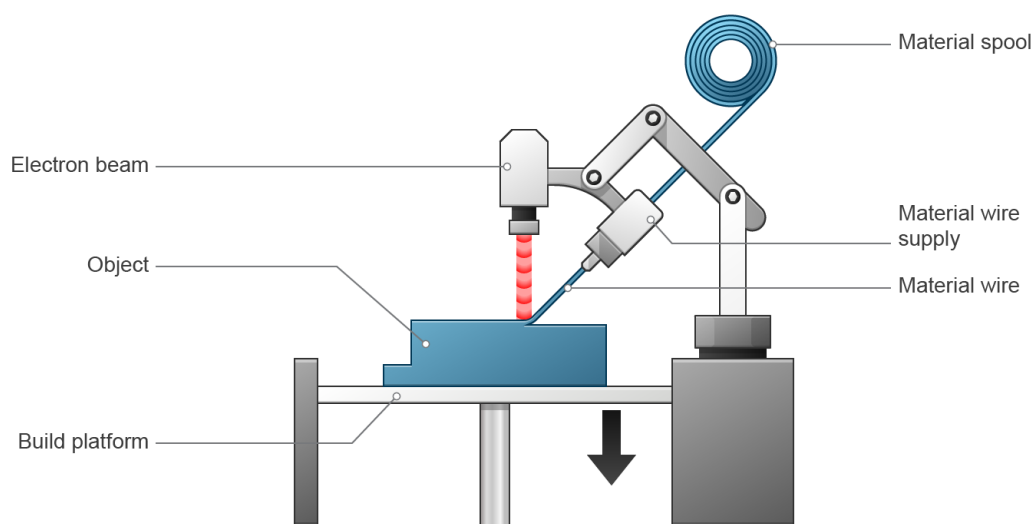
Deposició d'energia dirigida (Directed Energy Deposition)

La deposició d'energia dirigida consisteix en aplicar un feix d'energia localitzat sobre una peça. Aquest procés és similar als processos d'impressió amb injecció de material, però amb algunes diferències. En lloc d'utilitzar un capçal que conté el material, la deposició d'energia dirigida disposa de material en forma de pols o filament que subministra a través d'un sistema d'alimentació cap un feix d'energia dirigida [7], [37]. A la Taula 1.9 es presenta una síntesi dels aspectes rellevants de la deposició d'energia dirigida.

Deposició d'energia dirigida (Directed Energy Deposition)	
Nom Alternatiu	LMD - Laser Metal Deposition LENS™- Laser Engineered Net Shaping DMD™- Direct Metal Deposition
Funcionament	Energia tèrmica dirigida per a fondre i unir partícules
Descripció	El pols o el filferro s'introdueixen en un dipòsit de fusió que s'ha generat a la superfície de la peça on s'adhereix a la plataforma o capes subjacents utilitzant una font d'energia com un raig làser o d'electrons. Es tracta bàsicament d'una forma de soldadura per acumulació automatitzada.
Fortaleses	<ul style="list-style-type: none"> • No limitat per la direcció o l'eix • Efectiu per a reparacions i addició de funcions • Múltiples materials en una sola part • Més altes velocitats de deposició d'únic punt
Materials habituals	Filferro i pols de metall, amb ceràmica

Taula 1.9: Síntesi dels aspectes més importants de la deposició d'energia dirigida. Font [24] [21] [25]

El feix emprat en aquesta tecnologia sol ser un làser, raig d'electrons o gas ionitzat a alta temperatura a través d'injectors [7]. D'aquesta manera el que es permet és que el material es fongui i es crea un bany de material fos. Al mateix temps s'aplica un nou material, que en estar en contacte amb el feix, es diposita sobre el bany, tal com es pot observar en la Figura 1.27. [38]. El procés de fabricació inicia en el filtre, el qual es desplaça de forma programada sobre la superfície de treball generant un petit bany sobre el qual aporta nou material. Quan aquest es desplaça, el líquid que va dipositant solidifica creant una nova capa en finalitzar el recorregut. El filtre repeteix el procés generant capes de forma successiva fins a conformar la peça dissenyada. La safata del sistema està dissenyada perquè no pugui ser fosa pel feix d'energia mentre diposita la primera capa.



2018 © Dassault Systèmes

Figura 1.27: Esquema del procés de deposició d'energia dirigida. Font: [38]

La majoria d'aquestes impressores DED són màquines industrials que requereixen un entorn tancat i controlat per funcionar. Per tant, la Deposició d'Energia Dirigida consisteix en un broquet muntat en un braç multi-eix dins d'un marc tancat, que diposita el material fos a la superfície de la peça de treball, on es solidifica. També aquest procés és similar a la tècnica d'impressió d'extrusió de material, però amb la diferència que DED disposa d'un filtre que es pot moure en direccions múltiples, fins a cinc eixos diferents, en comparació de només tres per a la majoria de màquines d'extrusió de material [38]. Així doncs, poden projectar material sobre qualsevol direcció, per això aquest procés s'utilitza amb tres finalitats diferents: per generar objectes, per a fer reparacions i per afegir parts o modificacions d'alguna part d'una

peça ja existent. A més de la capacitat de construir peces des de l'inici (sovint amb la hibridació d'una eina CNC de molí / torn), aquesta tècnica, tal com s'ha comentat, també és capaç de fixar parts danyades complexes, com ara pales de turbina o hèlixs [38]. Aquest és un aspecte que es troba rellevant en comparació de les tècniques explicades anteriorment.

Hi ha processos que treballen diferents materials per DED, des polímers termoplàstics fins metalls o ceràmics, encara que generalment es treballa sobre metalls. El rang d'aliatges metàl·lics utilitzades amb aquest procés abasta des de les aliatges d'acer (inoxidable i d'eines), aliatges d'alumini i de níquel. En poder treballar sota atmosferes protectores, també es produeixen peces de titani i aliatges d'aquest i aliatges de cobalt [25].

En el cas de treballar amb materials que siguin sensibles a l'aire, cal procurar oferir l'atmosfera adequada. Aquest aspecte implica un desavantatge, ja que es necessita crear tota una cambra de treball. Una altra opció és afegir al filtre canals de fas que projecten una atmosfera protectora sobre el bany del material, tal com es fa en la soldadura TIG. En aquest segon cas, només es protegeix la part necessària evitant la necessitat de tenir una màquina per suportar aquestes atmosferes.

De la mateixa manera que la tecnologia d'impressió mitjançant injecció de material, aquest procés té l'avantatge que el material subministrat pel sistema d'alimentació, pot ser canviat si segons el preestablert per la peça. Així mateix, aquest procés possibilita combinar diverses fonts de material durant la fabricació d'una peça, presentant peces amb un gradient de materials de manera volumètrica [7].

També cal destacar que amb aquesta tecnologia es poden obtenir peces de major grandària i tenen un major temps de deposició del material. Tot i això, com s'ha descrit, aquest procés és idoni per a realitzar reparacions o modificacions de peces ja construïdes.

Com a desavantatges principals cal destacar que l'acabat superficial de la peça és més vast que el generat per Fusió de Llit de pols, requerint un mecanitzat posterior. També presenta alguna limitació envers la realització de geometries complexes amb espais buits [6]. No obstant això, aquesta tecnologia permet realitzar detalls definits en l'escala de dècimes de mil·límetre.

1.3.3.3. Classificació segons Kruth i D.T. Pham

La classificació que s'ha mostrat en l'apartat anterior, és la més acceptada i estandarditzada. No obstant això, existeixen altres classificacions entre les quals cal destacar la de Kruth i després represa per D.T. Pham. El principal interès en aquesta classificació rau en valorar diferents criteris per a classificar les tecnologies de fabricació additiva. D'aquesta manera, proporciona una visió diferent que complementa l'apartat vist anteriorment.

Les tecnologies AM es poden dividir àmpliament en les que impliquen l'addició de material i les que suposen la seva eliminació. Segons Kruth et al [39], es poden dividir per l'estat del material del prototip abans de la formació de parts. Les tecnologies basades en líquids poden suposar la solidificació d'una resina en contacte amb un làser, la solidificació d'un fluid electromagnètic, o la fusió i la posterior solidificació del material del prototip [1]. Els processos que utilitzen pols els combinen amb un làser o mitjançant l'aplicació selectiva d'agents d'enllaç.

Els processos que utilitzen làmines sòlides es poden classificar segons si les làmines estan unides amb un làser o amb un adhesiu. La Figura 1.28 mostra la classificació de Kruth[39], que ha estat adaptada per incloure noves tecnologies.

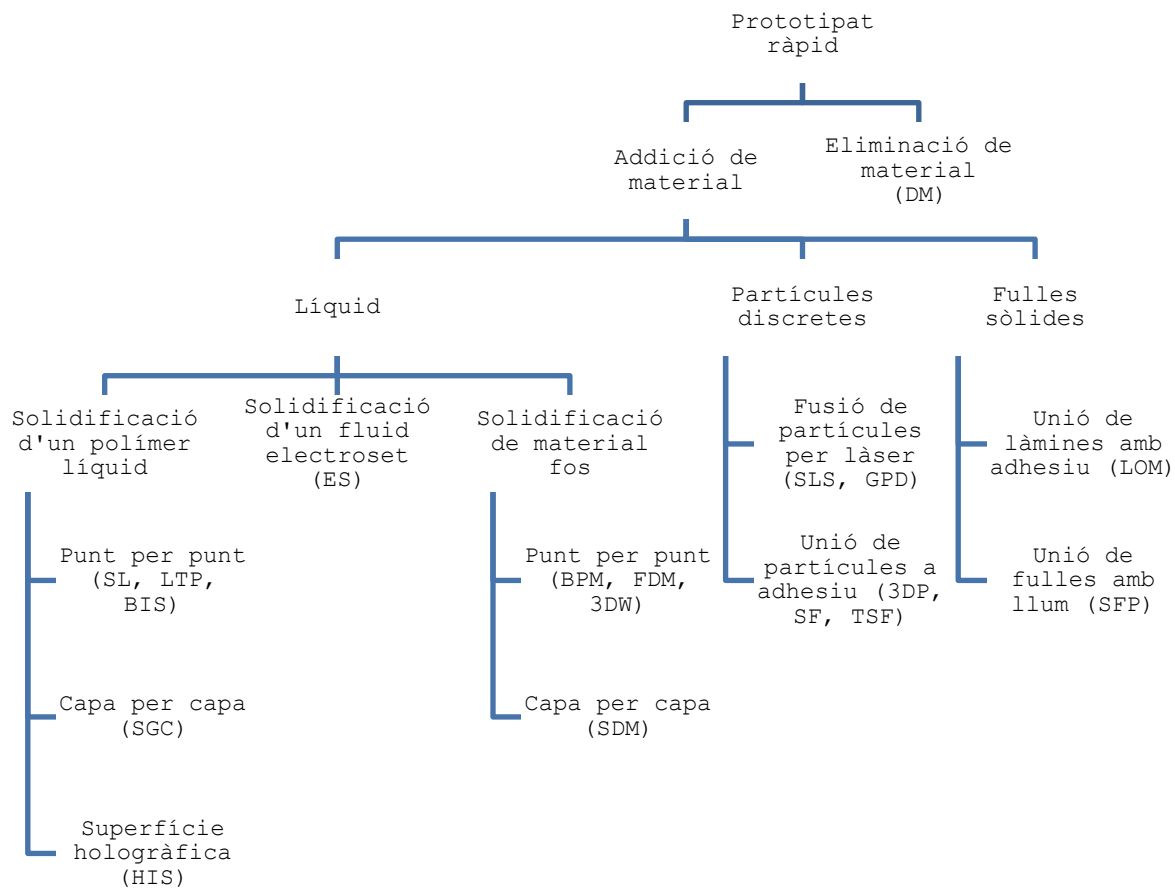


Figura 1.28: Classificació de mètodes de prototipatge ràpid. Adaptat de[1].

1.3.4. Beneficis i limitacions de la fabricació additiva

Com s'ha anat comentat en apartats anteriors, la impressió 3D es basa en la creació d'objectes capa a capa. Ofereix avantatges envers tècniques de fabricació tradicionals. És poc probable que la fabricació additiva substitueixi molts dels mètodes de fabricació tradicionals, però hi ha moltes aplicacions en les quals una impressora 3D pot oferir un disseny ràpid, amb alta precisió i funcionalitat [40].

Comprendre els avantatges que aquesta tecnologia aporta als dissenyadors un ventall de possibilitats per a prendre millors decisions a fi de decidir i seleccionar un procés de fabricació adequat i així obtenir un producte òptim. En la Figura 1.29 es mostren els beneficis de la fabricació additiva més rellevants i s'expliquen tot seguit.

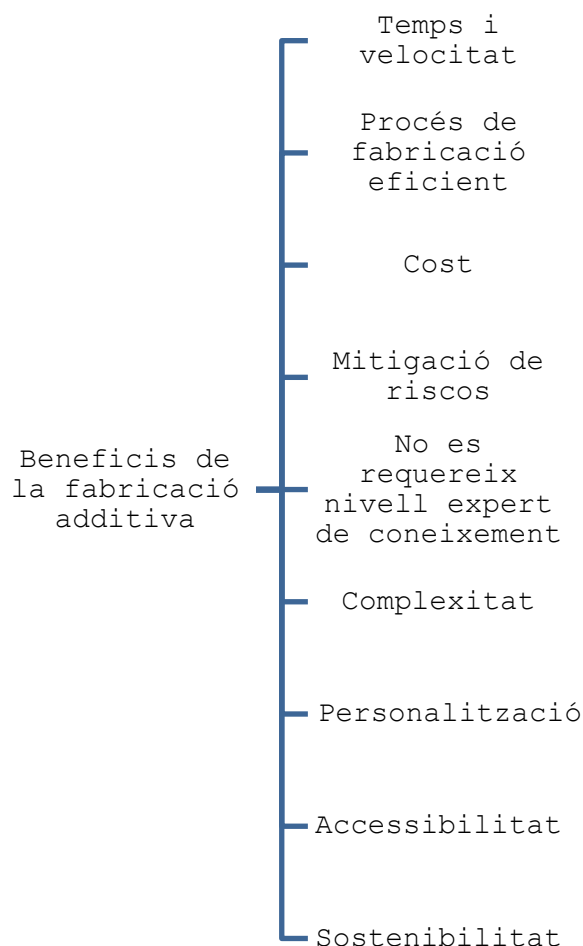


Figura 1.29: Esquema dels principals beneficis de la fabricació additiva. Font pròpia.

- **TEMPS I VELOCITAT**

Un avantatge principal de la fabricació additiva és la velocitat a la qual es poden fabricar les peces en comparació d'altres tècniques tradicionals. Els dissenys complexos en format CAD es poden imprimir en poques hores (depenent de la dimensió de la peça). Aquest aspecte incideix notablement en que es pot fer una ràpida verificació del producte i desenvolupar més idees de disseny. De la mateixa manera, resulta més factible aquesta tecnologia per a realitzar prototips.

Les màquines de fabricació additiva industrials tarden més en imprimir i realitzar el post processament requerit de la peça. Tanmateix, la capacitat de produir peces finals funcionals en volums baixos o mitjans, ofereix un avantatge enorme per estalviar temps en comparació amb les tècniques de fabricació tradicionals (sovint el temps d'avanç en la matriu d'emmotllament per injecció pot requerir setmanes). En resum, els cicles de disseny, procés i producció més curts fan que els productes es comercialitzin més ràpidament [41].

- **PROCÉS DE FABRICACIÓ**

Un dissenyador es preocupa per a fabricar una peça de forma eficient. La gran majoria de peces requereixen diferents passos per a ser produïts mitjançant tecnologies tradicionals. Cada pas afecta a una millor qualitat de la peça.

Les màquines de fabricació additiva completen la construcció de la peça d'un sol pas, sense la interacció de l'operari de la màquina durant la fase de la fabricació.

La capacitat de produir una peça en un sol pas sense la necessitat d'altres processos (mecanitzat, soldadura, pintura,...) redueix la dependència entre fases i dona al dissenyador més control del producte final. No obstant això, en la fabricació additiva hi ha la fase de post processament, en la qual es poleix la peça per tal de donar l'acabat més similar al disseny programat.

Aquest procés de fabricació no requereix muntatge. La impressió 3D produeix peces enclavades a diferència de la fabricació tradicional, la qual inclou més fases i es requereix més temps per muntar la peça final [3]. En la Figura 1.30 es mostra gràficament la comparació del procés de fabricació additiva i la fabricació convencional.

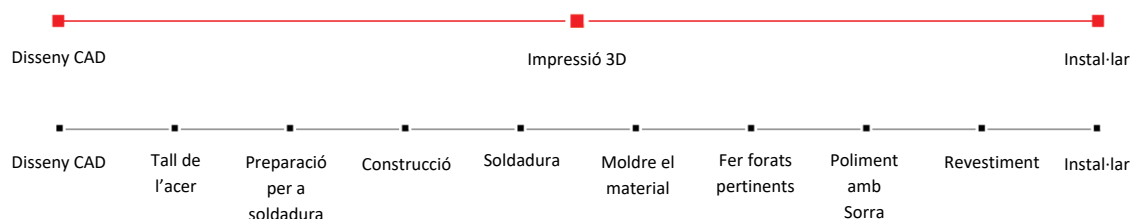


Figura 1.30: Comparació del procés d'impressió 3D (vermell) i el procés de fabricació tradicional (negre). Adaptat de [36]

• COST

Hi ha tres costos que s'han de valorar: el cost d'operació de la màquina, del material i de la mà d'obra [36].

- **Costos d'operació de la màquina:** les màquines de fabricació additiva industrials consumeixen una gran quantitat d'energia per a produir una peça. No obstant això, la capacitat de poder produir peces amb geometries complexes en sol pas, ofereix una major eficiència. Els costos d'operació de la màquina solen ser els més elevats en l'etapa de fabricació.
- **Costos de material:** el cost del material depèn de la tecnologia que s'empra. Segons [36], les impressores FDM utilitzen bobines de filament i poden tenir un cost d'entre 20€ a 100€ el Kg, mentre que la impressió SLA requereix una resina amb un cost aproximat de 130€ per litre. El pols de niló que s'empra en la tecnologia SLS té un cost aproximat de 60€ el Kg, mentre que els pellets de niló, com indica [36], es poden comprar per un cost al voltant de 5€ el Kg.

La complexitat geomètrica té una aplicació destacada en la reducció del pes de l'objecte i de material mitjançant estructures internes buides o emprant diferents materials [42].

- **Costos de mà d'obra:** aquesta tecnologia es caracteritza per tenir un baix cost de mà d'obra. Es requereix un operador per a pressionar un botó i la màquina ja segueix un procés automatitzat per a produir la peça. Això mostra la diferència amb la fabricació tradicional, la qual requereix operadors altament qualificats en diferents processos de construcció per a la confecció d'una peça.

Així doncs, ofereix noves capacitats. Els productes complexos poden produir-se en massa sense altes inversions de capital de cost fix i amb un cost variable menor que els mètodes tradicionals.

- **MITIGACIÓ DE RISCOS**

L'etapa de disseny en la fabricació tradicional és molt important, ja que un petit error pot tenir un gran impacte financer. La possibilitat de verificar motlles o imprimir prototips abans d'invertir en costosos equips de fabricació, disminueix el risc de creació d'errors en sèrie. D'aquesta manera es genera un ambient de confiança en el disseny abans de fer grans inversions i produccions en massa [36].

La impressió 3D ofereix aquest benefici d'experimentar la sensació del prototip per a provar-lo físicament i trobar-li falles en el disseny. Els errors de disseny són modificables a l'arxiu CAD i es pot tornar a imprimir una altra versió de la peça [43].

- **FABRICACIÓ ZERO HABILITATS**

Les màquines de fabricació tradicionals necessiten operaris amb un nivell de coneixement expert de la màquina per tal d'ajustar-la i calibrar-la. En canvi, una impressora 3D rep la major part de la seva orientació des de un fitxer CAD. Així doncs, es requereix menys habilitat per part de l'operador referent al coneixement de la màquina.

- **COMPLEXITAT I LLIBERTAT EN EL DISSENY**

La peça es va conformant capa a capa, aspecte que proporciona menys restriccions a l'hora de fabricar la peça. En la fabricació additiva no s'apliquen requisits de disseny com els angles de tir, els forats i l'accés d'eines durant la fabricació [36]. S'ofereix la capacitat de crear dissenys personalitzats amb possibilitats il·limitades [41]. La varietat és gratuïta, és a dir, una única impressora 3D pot fer moltes peces diferents, a diferència de les màquines de fabricació tradicionals que són molt menys versàtils i tenen un nombre limitat de formes [3].

Un exemple de geometria complexa és el dels fractals, terme emprat per Benoît Mandelbrot per a definir formes basades en models matemàtics. Aquestes formes es caracteritzen per se estructures que es troben habitualment a la natura, on els fractals permeten minimitzar l'ús de materials i optimitzar la funcionalitat [42].

No obstant això hi ha limitacions en quant a la mida mínima a la qual es pot imprimir amb precisió i en la orientació de la peça per tal de requerir menys suport.

- **PERSONALITZACIÓ**

La fabricació additiva ofereix llibertat en el disseny i una personalització completa de la peça. Per això és perfecta per a fer produccions úniques, degut a la seva producció de peces individuals. En aquest aspecte, la fabricació additiva ha estat emprada en la indústria mèdica i dental per la fabricació individualitzada de pròtesis, implants... segons les necessitats personalitzades.

A més a més, en algunes tecnologies de fabricació additiva, es pot fabricar una peça aportant simultàniament diferents materials en un mateix sòlid, i així anar donant resposta a limitacions en la relació pes/resistència mecànica.

- **ACCESSIBILITAT**

Tal com s'ha llegit a l'apartat 1.2, a partir del 2010 es va donar un important creixement en la indústria de la fabricació additiva. Aquest fet ha facilitat a dissenyadors l'accés a aquesta tecnologia. A continuació es mostra un gràfic amb les ventes d'impressores 3D des del 2007 fins l'actualitat [36], [43], [44], [45]. Veure Figura 1.31.

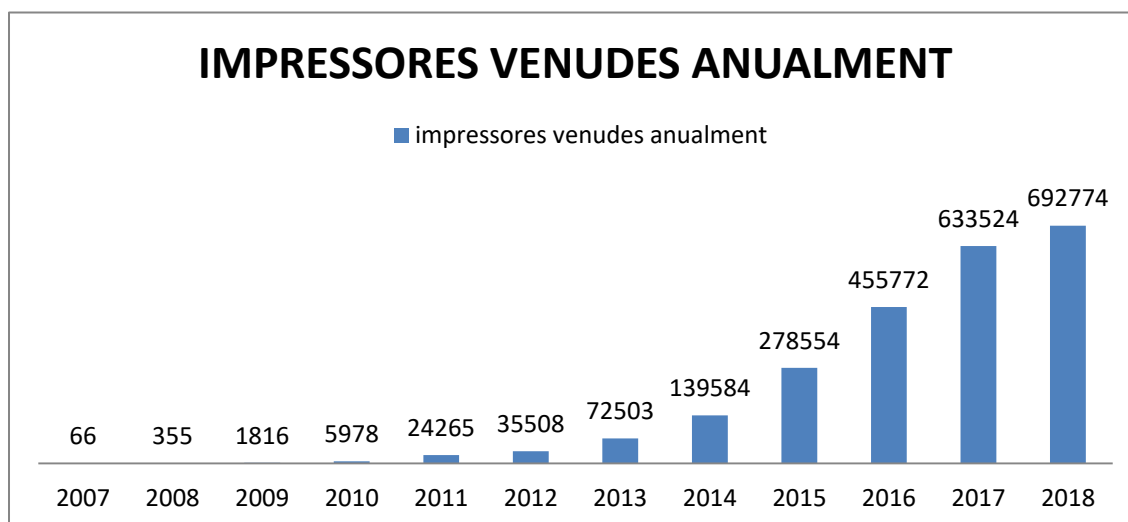


Figura 1.31: Gràfic representatiu de ventes anuals d'impressores a nivell mundial (impressores amb un cost inferior a 5000€). Font: pròpia

En els darrers anys també es pot observar com ha incidit l'accessibilitat d'aquesta tecnologia a nivell industrial [46], [47]. En la Figura 1.32 es pot observar aquesta evolució de ventes.

- **SOSTENIBILITAT**

La fabricació additiva pot requerir de la sostracció, però no és el més habitual. Els mètodes de fabricació sostractiva, com el fresat o el torn, eliminen una quantitat de material el qual es perd. Els mètodes de fabricació additiva, generalment, utilitzen el material necessari per a construir la peça a partir de matèria prima que es pot reciclar i reutilitzar [36]. D'aquesta manera, es produeixen pocs residus, educant en pèrdues i augmentant l'eficiència [3].

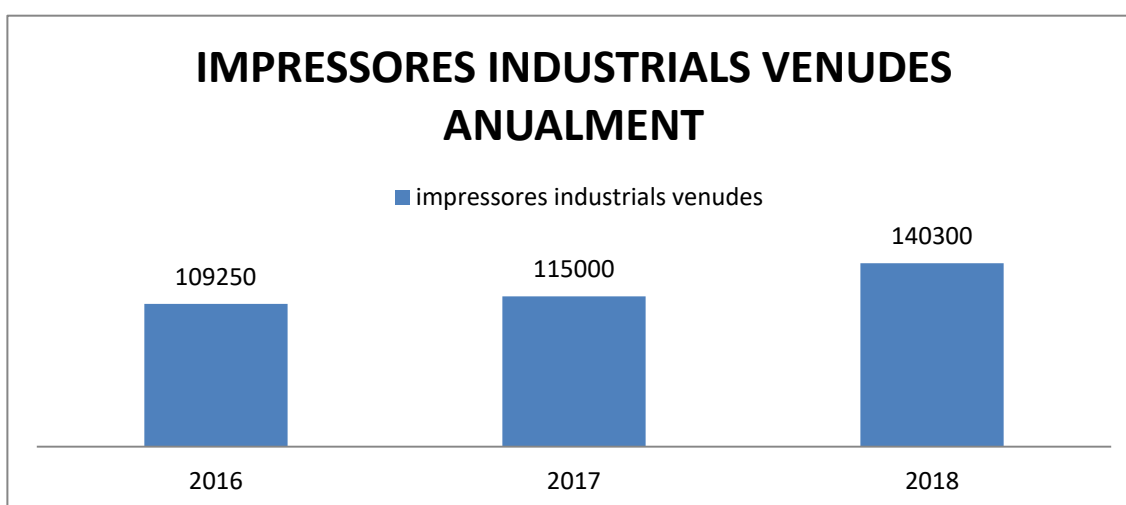


Figura 1.32: Gràfic representatiu de ventes anuals d'impressores industrials a nivell mundial en els darrers anys. Font: pròpia

Tot i els beneficis especificats, també hi ha una sèrie de limitacions que es mostren en la Figura 1.33 i s'expliquen seguidament:

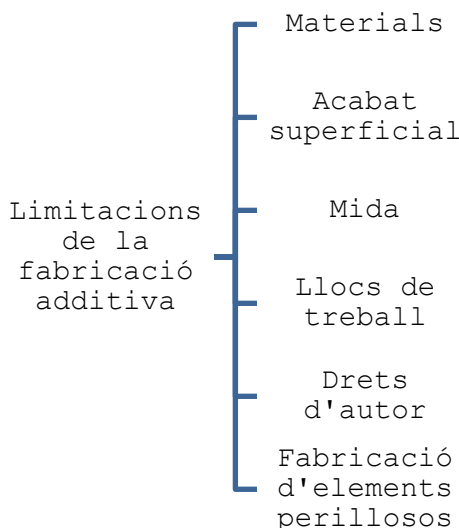


Figura 1.33: Esquema dels principals limitacions de la fabricació additiva. Font pròpia.

- **MATERIALS**

Les impressores de fabricació additiva poden emprar materials específics o gammes de materials. La impressió de diferents productes requereix impressores més avançades amb els processos d'injecció de material, extrusió de material o deposició d'energia dirigida amb certes modificacions.

Tot i que és possible emprar tècniques de fabricació additiva en molts materials metàl·lics i no metàl·lics, la gamma disponible és inferior a la que es pot treballar per mètodes substractius o de conformat. A més a més, el cost d'adquisició de material per unitat de mesura sol ser bastant superior [42].

- **ACABAT SUPERFICIAL DE LES PECES I VELOCITAT DE FABRICACIÓ**

L'augment de la velocitat de fabricació condiona la qualitat de l'acabat superficial. Conseqüentment és habitual trobar tècniques de post processament un cop s'ha conformat la peça. És possible que hi hagi peces que requereixin tractament tèrmic o processos mecànics, sobretot per assegurar la tolerància o per eliminar restes de suports de construcció.

- **MIDA**

Actualment les impressores 3D tenen una limitació de mida d'impressió. Els objectes es troben limitats per l'espai de fabricació i no pel disseny complex. Hi ha impressores que poden imprimir fins a 600 x 300 x 300 mm [48] o fins i tot 600 x 1000 x 600 mm com la impressora JCR 3D SMART Printer mitjançant tecnologia FDM [49].

- **LLOCS DE TREBALL**

La introducció d'aquesta tecnologia comporta una disminució dels llocs de treball de fabricació. Aquest aspecte pot comportar un desavantatge en les economies d'alguns països [3].

- **DRETS D'AUTOR**

Amb la impressió 3D es pot augmentar la impressió de productes amb drets d'autor per crear articles falsificats, ja que serà difícil de prevenir.

- **FABRICACIÓ D'ELEMENTS PERILLOSOS**

Amb aquesta tecnologia lliure de llibertat en el disseny, es dona la possibilitat d'imprimir elements que puguin ser violents i afectar la seguretat de les persones.

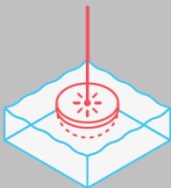
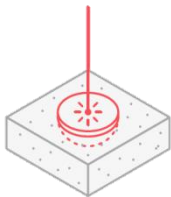

Enumerats els beneficis i les limitacions de la fabricació additiva, es pot veure com la impressió 3D és una realitat. S'estén àmpliament en una varietat d'aplicacions, des d'un ús domèstic senzill fins a aplicacions industrials complicades amb costos decreixents i amb una eficiència creixent. Alguns experts argumenten que aquestes impressores seran el motor d'una pròxima revolució que canviarà tota la cara de la indústria i que serà una part bàsica de totes les llars d'acord amb la disminució del cost [3].

1.4. Descripció dels processos i materials de fabricació additiva

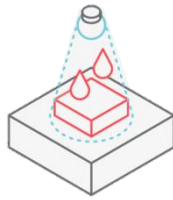
Un cop s'ha presentat una visió de les diferents tecnologies de fabricació additiva, a continuació es farà esment dels processos i els materials que caracteritzen cada un dels set grups d'impressió 3D, de forma més detallada.

L'objectiu final és adquirir una llista de materials a fi de, posteriorment, contrarestar-ho amb els materials que les societats de classificació permeten emprar en la construcció d'embarcacions. És per això que en aquest apartat, més que detallar el funcionament de cada procés, es procedirà a determinar els materials que s'empren i les seves propietats fonamentals.

En primer lloc es mostra la Taula 1.10, la qual mostra un resum de les diferents tecnologies que s'han tractat en l'apartat anterior i un esquema il·lustratiu.

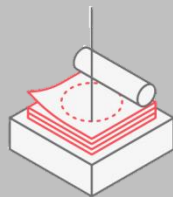
Tecnologia	Descripció
Foto polimerització de cubeta (Vat Photopolymerization) 	Procés de fabricació additiva en el qual un fotopolímer líquid en un dipòsit es cura selectivament per polimerització amb llum.
Fusió de llit de pols (Powder Bed Fusion Processes) 	Procés de fabricació additiu en què l'energia tèrmica fusiona selectivament les regions d'un llit de pols.
Injecció d'aglutinant (Binder Jetting) 	Procés de fabricació additiva en el qual un agent de connexió líquid s'uneix selectivament a regions d'un llit de pols.

Injecció de material (Material Jetting)



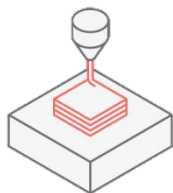
Procés de fabricació additiva en el qual es dipositen selectivament gotes de material i es cura en una placa de construcció.

Laminació de xapes (Sheet Lamination Processes)



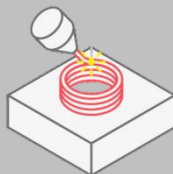
Procés de fabricació additiva en el qual s'uneixen làmines de material per mitjà del tall.

Extrusió del material (Material Extrusion Processes)



Procés de fabricació additiva en el qual es distribueix de manera selectiva un filtre o un orifici.

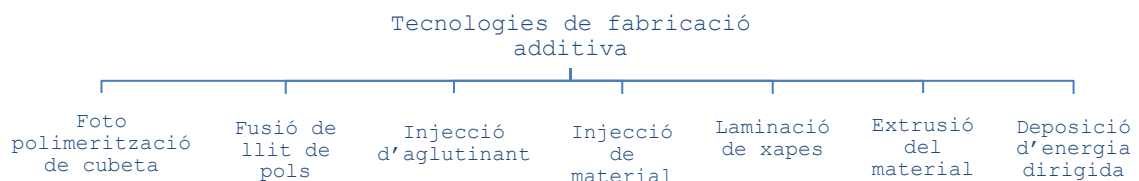
Deposició d'energia dirigida (Directed Energy Deposition)



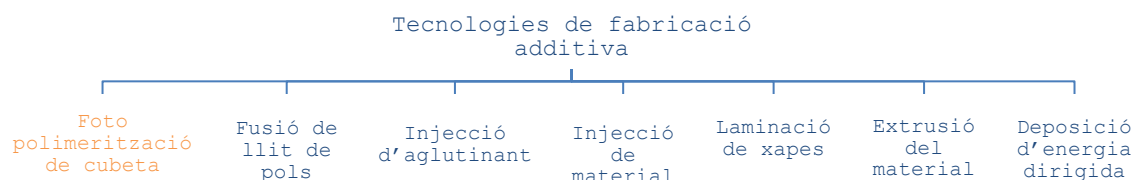
Procés de fabricació additiva en què s'utilitza energia tèrmica enfocada per fusionar els materials mitjançant la fusió a mesura que es dipositen.

Taula 1.10: Classificació de les tecnologies d'impressió 3D. Adaptat de [50]

A continuació es mostra un esquema il·lustratiu el qual, a mesura que s'avanci en aquest apartat, anirà contextualitzant el procés que s'explica en aquell apartat.



1.4.1. Processos de Foto polimerització de cubeta



Les tecnologies de polimerització de cubeta utilitzen una resina de fotopolímer en una cubeta que s'adhereix mitjançant una font de llum. Els processos més habituals o la polimerització de cubeta són SLA (Estereolitografia), DLP (Processament de llum directa) i CDLP (Processament de llum directa contínua).

Atès que els tres processos de foto Polimerització utilitzen mecanismes similars per produir peces, seguidament s'explicarà breument cada un dels processos, la precisió dimensional d'aquesta tecnologia, els materials emprats, el post processament si escau i els beneficis i limitacions d'aquesta tecnologia.

1.4.1.1. Processos

Es mostra a continuació tres processos característiques de la tecnologia de Polimerització de Cubeta: Estereolitografia, Processament de llum directa, Processament de llum directa contínua.

- **Estereolitografia (SLA)**

El terme Estereolitografia va ser emprat per Charles W. Hull, que va patentar la tecnologia el 1986 i va fundar la companyia *3D Systems* per comercialitzar-la. El procés utilitza miralls, coneguts com galvanòmetres (un a l'eix X i un a l'eix Y) per apuntar ràpidament un feix làser a través d'una tina, l'àrea d'impressió, la curació i la solidificació de la resina al seu pas. Aquest procés divideix el disseny, capa per capa, en una sèrie de punts i línies que es donen als galvanòmetres com un conjunt de coordenades [50].

El procés SLA emprava una plataforma de construcció submergida en un tanc translúcid ple de resina líquida de fotopolímer. Un cop la plataforma es troba submergida, el làser traça selectivament l'àrea en el pla X-Y i el material es solidifica pel làser. Seguidament, la plataforma s'eleva i deixa que flueixi una nova capa de resina. Aquest procés es repeteix capa a capa per a produir una peça sòlida. Generalment, les peces es curen posteriorment amb llum UV per a millorar les propietats mecàniques [51].

Segons [52], tot i que aquesta tecnologia presenta excel·lents resolucions (amb gruixos de capa de 20 a 50 micres), peces de mides reduïdes d'aproximadament un puny, poden trigar fins a 24 hores a ser fabricades mitjançant el procés SLA.

- **Processament de llum directa (DLP)**

El procés DLP segueix un mètode similar a SLA en referència a la producció de peces. La principal diferència és que el DLP utilitza una pantalla de projecció de llum digital per captar una sola imatge de cada capa que es compon de píxels quadrats, cosa que resulta en una capa formada per petits maons rectangulars anomenats *voxels*.

El procés DLP pot aconseguir temps d'impressió més ràpids en comparació amb SLA, ja que tota una capa s'exposa al mateix temps, en lloc de traçar l'àrea de la secció transversal amb un punt làser. La llum es projecta a la resina utilitzant pantalles de díodes emissors de llum (LED) o una font de llum UV que es dirigeix a la superfície de construcció mitjançant el Dispositiu de *Micromirror* Digital (DMD). Un DMD és un conjunt de micro miralls que controlen on es projecta la llum i genera el patró de llum a la superfície de construcció [51] [50].

- **Processament de llum directa continua (CDLP)**

El procés CDLP produeix parts exactament de la mateixa manera que DLP. No obstant això, es basa en el moviment continu de la placa de construcció en la direcció Z. Això permet temps de compilació més ràpids, ja que no es requereix que la impressora s'aturi i separa la part de la placa de compilació una vegada que es produeix cada capa [51].

1.4.1.2. Precisió dimensional

El procés de polimerització de cubeta presenta una dificultat en relació a la precisió de peces amb grans superfícies planes. Quan la peça es va conformant, en exposar-se a la font de llum de la impressora, cada capa es redueix durant les solidificacions. Quan aquesta es redueix, a la part superior d'una capa solidificada (capa reduïda), s'obre per esforç de flexió entre les dues capes. Com a conseqüència es sofreix l'anomenat efecte *cúrling*. El suport és important per ancorar les seccions amb probabilitat de risc d'una peça a la placa de construcció i mitigar la possibilitat de l'efecte cúrling. L'orientació per part i limitació de la longitud de les capes planes són també factors importants.

Un altre aspecte que pot succeir en quant a discrepàncies dimensionals és la separació entre capes. En aquesta situació pot provocar una acumulació de tensions a mesura que es construeix cada capa. Les resines que tenen propietats de flexió més elevades (menys rígides) tenen un major risc de deformació i poden no ser adequades per a aplicacions d'alta precisió.

1.4.1.3. Materials

Els polímers emprats com a material per a conformar la peça, es presenten en forma de líquid viscos (resina) i posteriorment es tracta amb un làser. Els materials de SLA (termoestables) són més fràgils que els materials produïts amb SLS (termoplàstics). És per això que les peces realitzades amb el procés SLA no s'empren per a fer prototips funcionals que poden requerir una carga significativa [36].

La Taula 1.11 presenta alguna de les més comunes resines de la pla foto polimerització de cubeta i les principals característiques associades a cada una d'elles [50].

Material	Marques comunes	Característiques
Estàndard	Formlabs Grey, VisiJet, FTX Gray, Somos NeXt	<ul style="list-style-type: none"> – Acabat superficial llis – Fràgil
Transparent	Formlabs Clear, WaterClear Ultra, Accura ClearVue	– Transparent
Modelable	MoonRay Castable Resin, VisiJet FTX Cast, DWS DC100,	– Modelable amb un baix percentatge de cendres després de la crema

Accura CastPro					
Dur / durador	Formlabs	Tough	Resin,	–	Alta rigidesa
	Accura	PEAK,	Somos	–	De tipus ABS o PP
	9110, Accura Xtreme				
Temperatura alta	Somos	ProtoTherm,	Accura	–	Resistència de la temperatura
	48 HTR,	VisiJet SL	HiTemp,	–	Eines per a emmotllament per injecció i termoconformació
Formlabs High Temp Resin					
Dental	Detas	Freeprint,	VisiJet e-	–	Biocompatible
	Stone,	Formlabs	Dental SG	–	Resistent a l'abradió
	Resin			–	Cost elevat
Flexible	Carbon3D	EPU 40,	Formlabs	–	Flexibilitat de goma
	Flexible Resin			–	No apte per a impressions que requereixin una alta precisió

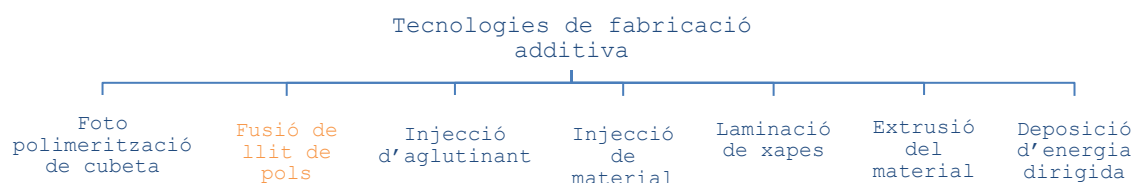
Taula 1.11: Materials comuns de Polimerització de Cubeta. Adaptat de [50]

1.4.1.4. Beneficis i limitacions

Els principals avantatges de *Vat Polymerization* són l'acabat superficial llis i l'alta precisió i detall que la tecnologia és capaç de produir en peces. La superfície llisa fa que SLA sigui una de les tecnologies d'impressió 3D més adequades per a la reproducció o producció de prototips tipus injecció. Així doncs, degut que SLA és un mètode molt concís en dimensió de la impressió 3D, fa que sigui ideal per a peces d'alta precisió on es necessiten toleràncies exactes i funcions complexes (com ara les joies i les indústries dentals) [50].

La major limitació de la impressió SLA són les propietats materials dels fotopolímers que utilitza el procés. Els fotopolímers fràgils i no tenen la resistència a l'impacte ni la durabilitat de les peces modelades per injecció, la qual cosa significa que el seu ús per a la producció de peces formals és limitat. Les peces impreses amb SLA / DLP també solen tenir una vida limitada. Experimenten una pèrdua de propietats mecàniques al llarg del temps i es degraden en presència de la llum solar. S'apliquen recobriments per allargar la vida útil de la peça. A més a més, les estructures de suport són sempre necessàries, aspecte que fa que es requereixi un processament posterior per eliminar les marques [53]. Aquestes limitacions materials són la principal raó per la qual aquesta tecnologia no s'ha adoptat àmpliament per a aplicacions funcionals.

1.4.2. Processos de Fusió de llit de pols



Aquesta tecnologia presenta variacions en funció de les diferents fonts d'energia (per exemple, làsers o feixos d'electrons) i el material de pols emprat en el procés (plàstics o metalls) [36]. Aquest procés, a diferència d'altres, es caracteritza per poder treballar amb diferents materials: metall i polímers. Per això es fa una distinció en dos grups.

Les tecnologies de fusió de llit en pols (polímers) utilitzen una font tèrmica per induir la fusió de partícules amb precisió en l'àrea de construcció, per produir una part sòlida. Les tecnologies de fusió de llit en pols (metall) produeixen la peça sòlida, utilitzant una font tèrmica per induir la fusió entre partícules de metall pols capa a capa. La majoria de les tecnologies de Fusió de llit de pols utilitzen mecanismes per afegir i allisar la pols a mesura que es construeix la peça, aquest aspecte comporta que la peça final queda submergida en la pols metàl·lica [50].

1.4.2.1. Processos

Els processos característiques de la tecnologia de la Fusió de llit de pols segons la tipologia de material emprat són els següents:

- **Polímers:** Multi Jet Fusion (MJF), Sinterització selectiva per làser (SLS)
- **Metall:** SLM / DMLS, Fusió de feix d'electrons (EBM)

Segons aquesta classificació, es presenta una breu explicació de cada un dels processos.

PBD Polímers:

- **Multi Jet Fusion (MJF):**

MJF és una combinació de les tecnologies SLS i Material Jetting. Una estructura amb filtres d'injecció es desplaça sobre l'àrea d'impressió, dipositant l'agent de fusió sobre una capa prima de plàstic en pols. Alhora, s'imprimeix un agent que inhibeix la sinterització prop de la vora de la peça. Després, una font d'energia d'alta potència passa per sobre del llit de construcció i sinteritza les àrees on s'administra l'agent de fusió, deixant la resta de la pols intacte. El procés es repeteix fins finalitzar la construcció de la peça [36]. Les peces impreses es troben immerses en un cúmul de pols i s'ha de refredar abans de treure-les. En MJF, la pols recuperat pot reciclar-se i reutilitzar-se en un 80-85%.

- **Sinterització selectiva por làser (SLS)**

S'inicia el procés de sinterització SLS amb un recipient de pols de polímer que s'escalfa a una temperatura just per sota del punt de fusió del polímer. Es deposita una capa molt fina de material en pols (normalment de 0,1 mm) sobre la plataforma de construcció i un feix de làser de CO₂ d'entre 50 i 200 W que comença a escanejar la superfície [7]. El làser sinteritza selectivament la pols i solidifica una secció transversal de la peça. Aquesta funció es realitza mitjançant un parell de galvanòmetres estratègicament enfocats, igual que en el procés SLA. Un cop s'ha escanejat tota la secció transversal, la plataforma de base de la construcció descendeix una alçada d'una capa. La làmina de recobriment deposita una nova capa de pols a la part superior de la capa escanejada i el làser comença a sinteritzar la següent capa transversal de la peça sobre les capes ja solidificades.

Aquest procés es repeteix fins que tota la peça es troba conformada. El pols que no es sinteritza es manté al seu lloc per suportar la peça a mesura que es construeix, evitant la necessitat d'estructures de suport. Aquest és un dels principals avantatges de SLS [50].

El resultat és una safata plena de pols i productes consolidats. El pols és reciclable al 50% per a màquines SLS, de manera que omplir una safata a plena capacitat també utilitza més material i redueix els residus. Quan el procés d'impressió finalitza i el recipient de pols i les peces s'han refredat, es procedeix a la extracció de la peça. Els productes sòlids es separen de la pols sense ingerir i es netegen amb aire comprimit. Posteriorment es duu a terme el processat d'acabament de la peça.

- **Comparació entre ambdós processos: SLS vs MJF**

Multi Jet Fusion (MJF) i Selective Laser Sintering (SLS) són dues tecnologies d'impressió 3D industrials que es caracteritzen per construir mitjançant la fusió tèrmica (o sinterització) de partícules de pols de polímer capa per capa. Els materials utilitzats tant en MJF com a SLS són polímers termoplàstics (generalment de niló) que vénen en forma granular. Tot i la similitud, la principal diferència entre MJF i SLS és la font de calor. SLS utilitza un làser per escanejar i sinteritzar cada secció transversal, mentre que a MJF es dispensa una tinta (agent de fusió) sobre la pols que promou l'absorció de la llum infraroja. Una font d'energia infraroja després passa sobre la plataforma i fusiona les àrees entintades [36].

Les diferències entre els dos processos també s'han detectat tant a escala molecular com en pols, amb un límit final de la matèria prima MJF juntament amb diferents propietats tèrmiques dels materials nous i reciclats. D'altra banda, les propietats de fluïdesa són similars entre els dos pols verges i reciclats. Les peces produïdes a través d'SLS exhibeixen un mòdul de Young més alt però un menor allargament a la ruptura i una resistència a la tracció final si es comparen amb les obtingudes usant MJF [54].

PBD Metalls:

- **SLM / DMLS**

La sinterització directa amb làser metàl·lic (DMLS) i la fusió làser selectiva (SLM) produeixen peces mitjançant un mètode similar al procés SLS. La principal diferència amb els processos anteriors és que DMLS i SLM s'utilitzen en la producció de peces metàl·liques. El DMLS no fon la pols metàl·lica, sinó que ho escalfa fins a un punt que pugui fusionar-se a nivell molecular. SLM utilitza el làser per aconseguir una fusió completa de la pols metàl·lica formant una part homogènia. Aquesta és la principal diferència entre DMLS i SLM: el primer produeix peces procedents d'aliatges metàl·lics, mentre que el segon procedent de metalls d'un sol element, com el titani. La creació de cada capa es realitza mitjançant la sinterització del metall en forma de pols mitjançant un làser de CO₂ d'entre 100 a 400 W, en funció de la màquina. El procés de construcció requereix una espai amb una atmosfera controlada, inerta i protectora per evitar

reaccions químiques que poden contaminar el metall durant el comprés de confecció de la peça [7].

A diferència del SLS, els processos DMLS i SLM requereixen suport estructural per limitar la probabilitat de qualsevol distorsió que es pugui produir, tot i que la pols que l'envolta proporciona un suport físic. Les peces DMLS / SLM corren el risc de deformar-se a causa de les tensions residuals produïdes durant la impressió a causa de les altes temperatures de processament [36][50].

Un cop s'ha completat la construcció de la peça, l'espai inert es deixa refredar. Segons [55], degut a les altes temperatures en les quals es duu a terme el procés de sinterització, es produeixen baixes tensions residuals o distorsions internes en el material que simplifiquen el post processament. No obstant, si el refredament no es duu a terme òptimament, la peça pot quedar amb tensions tèrmiques o deformacions i aleshores caldria tractar-les tèrmicament després de la impressió, mentre es mantenen connectades a la placa de construcció, per alleujar les tensions.

- **Fusió de feix d'electrons (EBM)**

A diferència d'altres tecnologies PBF, el procés EBM utilitza un feix d'alta energia (electrons) enfocat per bobines electromagnètiques en lloc d'un làser (fotons) per induir la fusió entre les partícules de pols metàl·lica. S'empra una pistola d'electrons de 3000 W i per tant el procés es duu a terme en una cambra de buit [55][50].

Un feix d'electrons escaneja una fina capa de pols, causant una fusió i solidificació localitzades a través d'una àrea transversal específica. Aquestes capes es construeixen per crear una part sòlida. Comparat amb SLM i DMLS, EBM té una velocitat de construcció generalment superior, a causa de la seva major densitat d'energia. No obstant això, la mida mínima de les característiques, la mida de les partícules en pols, el gruix de la capa i l'acabat de la superfície solen ser més grans. Les peces EBM es produeixen en un buit i el procés només es pot utilitzar amb materials conductors [50].

1.4.2.2. Precisió dimensional

Les peces SLS són susceptibles a la contracció i al deformació durant la impressió. A mesura que cada capa està sinteritzada, es fusiona amb la capa inferior a mesura que es refreda. Aquest refredament fa que la capa recentment impresa es redueixi. En el pitjor dels casos, la peça es pot acoblar i xocar amb el recobriment durant la fase de propagació de la pols. Per això, és important orientar la peça per tal de reduir l'àrea de secció transversal de cada capa. Per limitar la probabilitat que les peces es deformin o es redueixin durant la impressió, les impressores SLS utilitzen càmeres de construcció escalfades que augmenten la temperatura de la pols per sota de la temperatura de sinterització. Això produeix gradients de temperatura a les grans peces SLS, on la primera capa sinteritzada s'ha refredat, mentre que les capes superiors impreses recentment es mantenen a una temperatura elevada. Per això, un dels passos més importants del procés SLS és la fase de refrigeració. Per mitigar encara més la probabilitat que es produeixin deformacions, les peces es deixen a la paperera per refredar lentament (de vegades fins a un 50% del temps total de construcció) abans de manipular-lo [50].

En referència als processos els quals empen metall com a matèria prima, DMLS / SLM utilitza un làser per sinteritzar selectivament o per fondre pols de metall per produir peces metàl·liques. Igual que SLS, la impressió metàl·lica produeix parts d'una capa a la vegada en un entorn controlat i escalfat de màquines de mida industrial. Aquesta construcció capa per capa juntament amb les temperatures molt altes implicades en el procés, crea gradients tèrmics extrems i l'efecte net és que les tensions es construeixen a la peça. Malgrat aquestes tensions, les peces impreses en metall són generalment d'alta precisió dimensional. Les peces s'incorporen a una placa metàl·lica sòlida i s'han d'eliminar d'aquesta un cop completat el procés d'impressió (generalment per tall) [50].

1.4.2.3. Materials

En referència als processos amb polímers, els materials amb baixa conductivitat tèrmica són els més adequats perquè presenten un comportament més estable durant la fase de sinterització. El polímer termoplàstic conegut com a poliamida (PA) per produir peces és el més emprat en aquest procés. Les parts de poliamida tenen una excel·lent estabilitat a llarg termini i una bona resistència química amb la poliamida comercial més comuna que és de niló. El pols

SLS pot variar en funció del material, amb un niló estàndard PA 12 que costa aproximadament 60 €/kg.

Per millorar encara més les propietats mecàniques, la resistència a la calor / química de les peces SLS, o per obtenir un aspecte diferent, el niló pot ser barrejat amb altres materials com l'alumini, el vidre, el carboni i el grafit per formar un pols compost.

La Taula 1.12 presenta algun dels materials més comuns les principals característiques associades a cada una d'ells [50] [7].

Material	Marques comunes	Característiques
Nylon 12	EOS Balance 2200, 3D	– Cost econòmic
	Systems DuraForm PA	– Bones propietats mecàniques
		– Superfície rugosa
Alumide	EOS Alumide	– Aspecte metàl·lic
		– Resistència a la temperatura
PA-GF (Glass filled)	Sistemes 3D DuraForm ProX	– Alta rigidesa
	GF, EOS PA 3200 GF	– Bona relació força-pes
		– Resistència al desgast
Materials compostos	Windform XT (fibra de carboni), ePAC (compuesto de poliamidas)	– Aplicacions en la indústria de construcció

Taula 1.12: Materials comuns de Fusió de Llit de pols (Polímers). Adaptat de [7] [50]

Pel que fa als processos que empren pols metàl·lic com a matèria prima, les partícules de pols es fonen parcialment o totalment (depenent del procés). Per això, els metalls poden ser soldats en aquests processos. El procés DMLS / SLM és capaç de produir peces procedents d'una gamma de metalls, incloent alumini, acer inoxidable, titani, cobalt de crom i Inconel. També s'utilitza per a la producció de joies amb metalls preciosos com l'or, el platí, el pal·ladi i la plata. La conductivitat tèrmica de cada material pren un paper important en el procés de fusió sòlida.

Els dissenys amb característiques més fines, un alt nivell de detall o on es requereixen petites toleràncies es poden imprimir millor amb acer inoxidable o titani a causa de la seva

conductivitat tèrmica relativament baixa. L'elevat cost dels pols metàl·lics és un dels principals inconvenients de les tecnologies DMLS/SLM amb pols d'acer inoxidable 316L que costa al voltant de 400€/Kg.

La Taula 1.13 presenta algun dels materials més comuns les principals característiques associades a cada una d'ells [7] [56].

Material	Marques comunes	Característiques
Aliatges d'alumini	EOS Aluminium AlSi10Mg, EOS Aluminium AlSi10Mg / 200C	<ul style="list-style-type: none"> – Aplicacions aeroespacials d'interiors. – Alta resistència i duresa. – Bona combinació de propietats mecàniques i tèrmiques quan es requereix un baix pes específic.
Superaliatges de cobalt-crom	EOS Cobalt Chrome MP1 - CoCrMo, EOS Cobalt Chrome SP2 - CoCrMo	<ul style="list-style-type: none"> – Aplicacions en el sector biomèdic. – Excel·lent resistència al desgast i corrosió. – Grans propietats mecàniques a temperatures elevades.
Acers i acers inoxidables	EOS MaragingSteel MS1, EOS StainlessSteel GP1, EOS StainlessSteel PH1, EOS StainlessSteel 316L	<ul style="list-style-type: none"> – Aplicacions aeronàutiques i espacials. – Acer d'enduriment martensític amb bona tenacitat, resistència a la tracció i baixes propietats de deformació. – Es pot mecanitzar, endurir i soldar fàcilment. – Alta mal·leabilitat. – StainlessSteel 316L té alta resistència al desgast i corrosió (en ambient de clor). Bona resistència a la temperatura elevada, conformabilitat i soldabilitat.

Aliatges de níquel	EOS NickelAlloy HX, EOS	<ul style="list-style-type: none"> – Excel·lent rendiment, resistència a la tracció i ruptura per fluència a altes temperatures. – Usat per a aplicacions d'alta resistència en ambients extrems . – Excel·lent soldabilitat en comparació amb altres súper aliatges a força de níquel. – Alta resistència a la corrosió (IN625). – Molt resistent a les picades, a la corrosió d'esquerdes per corrosió sota tensió en ambients de clorur (IN625). – Resistent a les esquerdes per corrosió sota tensió en ambients petroquímics (HX).
	NickelAlloy IN625, EOS NickelAlloy IN718	
Aliatges de titani	EOS Titanium Ti64 – Ti6Al4V,	<ul style="list-style-type: none"> – Excel·lents propietats mecàniques i resistència a la corrosió amb un baix pes específic. – Excel·lent relació resistència / pes, mode de fabricació i biocompatibilitat.
	EOS Titanium Ti64ELI – ASTM F136	

Taula 1.13: Materials comuns de Fusió de Llit de pols (Metalls). Adaptat de [7] [56]

1.4.2.4. Beneficis i limitacions

- **Impressió amb polímers:**

El SLS és el més adequat per produir parts funcionals fortes amb geometries complexes amb un alt nivell de precisió. A més a més les peces no necessiten cap material de suport. Això significa que no cal eliminar el suport després de la impressió.

Per contrapartida, la impressió SLS és un procés industrial amb màquines que tenen un cost elevat d'aproximadament 250.000 € que requereixen operadors qualificats i procediments avançats de manipulació de materials. Aquest aspecte influeix en el lliurament de les peces, ja que aquest termini pot ser més llarg que en altres tecnologies.

Un aspecte a tenir en compte és que la etapa de calefacció i refrigeració són necessàries. Aquest fet fa que en imprimir una safata de 300 x 300 x 300 mm, es triga al voltant de 20 - 24 hores i altres 12 hores de temps de refrigeració abans que es puguin manipular les peces per a la tramitació.

Finalment, cal ressaltar que el procés SLS permet reciclar aproximadament el 50% de pols sense importar per impressió sense que es produeixin pèrdues significatives de propietats mecàniques [50] mentre que el procés MJF pot reciclar un 85-85%.

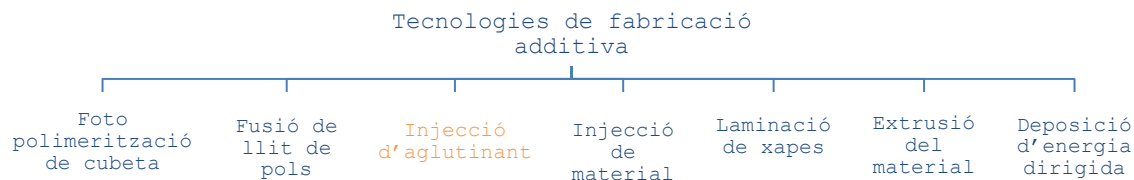
- **Impressió amb metalls:**

Aquest procés es caracteritza per poder fabricar peces complexes i amb un alt grau de personalització. A més, junt amb la gran varietat de materials que es poden emprar, es possibilita optimitzar la peça per tal de reduir el pes d'aquesta.

Les principals limitacions d'aquests processos són la mida del cost i de la construcció. El cost de les impressores 3D de metall i els materials que utilitzen són molt elevats. A causa d'això, hi ha tècniques tradicionals de fabricació que són més rentables per a algunes aplicacions.

La mida de la construcció és una altra restricció. Fins i tot les impressores 3D metàl·liques més grans tenen un volum de construcció reduït si es compara amb les mides de fabricació convencionals. Les peces metàl·liques també requereixen un coneixement significatiu del disseny per a la impressió 3D [50].

1.4.3. Processos d'injecció d'aglutinant



Binder Jetting (injecció d'aglutinant) és una tecnologia d'impressió 3D versàtil que s'utilitza per a diverses aplicacions. Aquesta tecnologia es basa en dipositar un agent d'unió sobre un llit de pols capa a capa. Aquestes capes s'uneixen entre si per formar una peça sòlida. Binder Jetting es pot classificar en dues categories: la impressió de sorra/polímers i la impressió de metalls.

Binder Jetting (BJ) imprimeix de manera similar a SLS amb la necessitat d'una capa inicial de pols a la plataforma de construcció. A diferència de la SLS, que utilitza un pols làser per sinteritzar, Binder Jetting mou un capçal d'impressió sobre la superfície de la pols dipositant gotes d'aglutinant (habitualment de 80 micres de diàmetre) que uneixen les partícules de pols per produir cada capa de la peça. Un cop s'ha imprès una capa, es mou la plataforma de forma descendent, es distribueix una nova capa de pols sobre la capa impresa recentment i es repeteix el procés fins que es genera una peça sòlida. La peça es deixa reposar en pols per guanyar força estructural. Després d'això, es retira la peça del llit de pols i s'elimina el pols restant mitjançant aire comprimit.

1.4.3.1. Processos

Com s'ha comentat anteriorment, el procés d'injecció d'aglutinant es pot dividir en dues categories: la impressió de sorra/polímers i la impressió de metalls.

- **Procés d'injecció d'aglutinant - Sorra / Polímers**

Aquest és un mètode de baix cost per produir peces de sorra (tot i poder produir amb polímers no és tant habitual). A continuació es descriuen els dos mètodes més habituals d'impressió de sorra.

Models a tot color: Les peces s'imprimeixen utilitzant un pols basat en guix o PMMA juntament amb un agent de connexió líquid aglutinant. Primer, un capçal d'impressió injecta l'agent d'unió, mentre que un capçal d'impressió secundari s'accelera i permet imprimir models a tot color. Una vegada que les peces s'han confeccionat, s'extreuen i es netegen. Per millorar les propietats mecàniques, sovint s'exposen a un material infiltrant. Hi ha un gran nombre d'infiltrants disponibles oferint propietats diferents a la peça final. També es poden afegir recobriments per millorar la vitalitat dels colors.

Motlles i nuclis de sorra: BJ també s'utilitza per a la producció de motlles i nuclis de sorra. Els nuclis i els motlles s'imprimeixen generalment amb sorra, encara que la sorra artificial (sílice) es pot utilitzar per a aplicacions especials. Després de la impressió, els nuclis i els motlles es retiren de l'àrea de construcció i es netegen. Seguidament es fonen els motlles i després de la fosa, es desfà el motlle i s'elimina el component metàl·lic final. Aquesta tecnologia presenta l'avantatge que es poden realitzar grans i complexes geometries a un cost relativament baix.

- **Procés d'injecció d'aglutinant - Metall**

Aquesta tecnologia també s'utilitza per a la producció de peces metàl·liques. La producció de peces metàl·liques mitjançant BJ permet la producció de geometries complexes que mitjançant les tècniques tradicionals de fabricació no es podrien produir. La pols metàl·lica està s'aglutina mitjançant un agent adhesiu líquid i polimèric. Un cop s'ha assecat i el primer procés a l'interior de la màquina s'ha completat, s'obté una peça unida, però amb unes propietats mecàniques escasses, ja que el pols metàl·lic es troba unit dèbilment mitjançant l'adhesiu [7]. Al mateix temps, l'interior de la peça presenta un grau elevat de porositat i per això es requereixen dos processos posteriors. El cost i la qualitat de la peça final és en funció de com es treballen aquests processos i l'aplicació de la peça. Sense aquests passos addicionals, les peces metàl·liques Binder Jetting tenen propietats mecàniques pobres.

Infiltració: Inicialment, es tracta com disminuir la porositat de la peça mitjançant un procés tèrmic el qual es caracteritza per emprar el bronze (habitualment) com a material infiltrat. Les partícules de pols metàl·lics s'uneixen utilitzant un agent. Una vegada que les peces s'han endurit completament, s'extreu la pols restant i es col·loca en un forn, on l'aglutinant es crema deixant buits al llarg de la peça (densitat del 60%). El bronze s'utilitza per infiltrar-se en els buits mitjançant una acció capil·lar, ocupant l'espai de la majoria dels porus, reduint la

porositat considerablement i resultant la peça amb alta densitat (superior al 90%) i bona resistència. No obstant, les propietats mecàniques no són comparables amb altres tecnologies de fabricació additiva [7][50]. Principalment aquest agent augmenta la duresa i intensifica el color [57].

Sinterització: A continuació, les peces es sinteritzen en un forn que s'ajusta a una temperatura per a fomentar la sinterització entre les peces metàl·liques, evaporant i eliminant al seu torn l'adhesiu que manté la peça unida [7]. Amb això s'aconsegueix una alta densitat (superior al 97%). La contracció no uniforme pot ser un problema durant la sinterització i s'ha de tenir en compte en la fase de disseny [50].

1.4.3.2. Precisió dimensional

Les capes fetes amb el procés a tot color, tenen una alçada de 100 micres, mentre que les capes dels motlles s'imprimeixen amb unes altures que oscil·len entre 240 i 380 micres. Hi ha impressores que poden imprimir capes de 50 micres, si es requereix una superfície molt llisa per l'aplicació de la peça [50]. No obstant això, s'augmenta el temps de producció i el cost. A causa de la manca de calor durant el procés, les peces presenten una bona estabilitat dimensional.

Els problemes de contracció estan relacionats amb els processos d'infiltració o sinterització, ja que la contracció tèrmica del procés d'infiltració és sovint imprevisible i no és uniforme durant la fase de refrigeració del procés. La contracció normalment oscil·la entre el 0,8 i el 2% [50].

1.4.3.3. Materials

La tecnologia BJ crea peces utilitzant una pols i un agent d'unió. Hi ha una gamma de materials que s'empren en funció de l'aplicació final de la peça. A diferència del procés SLS, es pot reciclar el 100% del pols sense unió.

La Taula 1.14 presenta algun dels materials més comuns les principals característiques associades a cada una d'ells [50] [57].

Material	Marques comunes	Característiques
Sandstone	VisiJet PXL, Z Corp, Voxeljet, VisiJet C4 Spectrum	<ul style="list-style-type: none"> – Allargament molt baix al trencament – Alta rigidesa – Models de presentació a tot color
Stainless steel-bronze matrix (infiltrated)	ExOne 420, ExOne 316	<ul style="list-style-type: none"> – Excel·lents propietats mecàniques – Capaç de mecanitzar
Stainless steel (sintered)	ExOne 316L, ExOne 17-4	<ul style="list-style-type: none"> – Resistència a la corrosió – Excel·lents propietats mecàniques
Inconel alloy (sintered)	ExOne IN Alloy 625	<ul style="list-style-type: none"> – Bona resistència a la temperatura – Excel·lents propietats mecàniques – Alta resistència química
Tungsten carbide (sintered)	ExOne	<ul style="list-style-type: none"> – Alta duresa – Utilitzat per a la producció d'eines de tall
Silica sand	ExOne, VoxelJet	<ul style="list-style-type: none"> – Excel·lent per a aplicacions de fosa de sorra

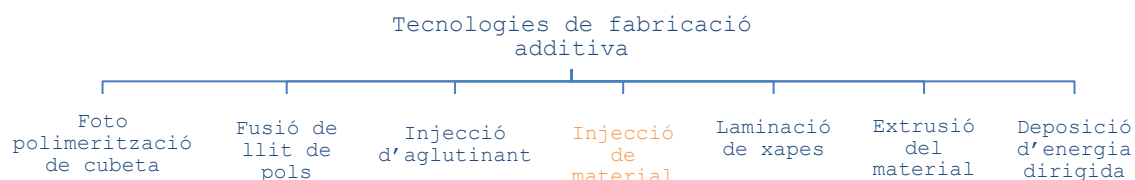
Taula 1.14: Materials comuns d'injecció d'aglutinant. Adaptat de [50] [57]

1.4.3.4. Beneficis i limitacions

Un dels principals avantatges de la tecnologia Binder Jetting és que el procés no utilitza cap tipus de calor, aspecte que significa que les peces no pateixen les tensions residuals que poden ser un subproducte de la calefacció i la refrigeració ràpides. Com que el procés no es basa en una font de calor per crear peces, el cost operatiu és baix i es poden imprimir peces grans.

Els agents aglomerants que s'utilitzen per unir la sorra o la pols metàl·lica són econòmics. Per als nuclis i motlles de sorra, el material utilitzat és de sorra de sílice. Els pols utilitzats en la impressió metàl·lica augmenten significativament el cost del Binder Jetting. Binder Jetting té un cost significativament més baix que el Powder Bed Fusion. La injecció d'aglutinant també permet imprimir parts molt més grans, com ara motlles. La principal limitació de Binder Jetting són les propietats mecàniques de les peces. Els components recollits directament del llot d'impressió són molt fràgils. Es requereix un procés secundari si és convenient que una peça sigui funcional.

1.4.4. Processos de d'injecció de material



La tecnologia d'injecció de material sovint es compara amb el procés d'impressió de tinta 2D. En concret, segons [7], la majoria de les màquines emprades actualment, utilitzen com a material de treball resines fotocurables en estat líquid que es troben en un cartutx o capçal similar als de la tinta d'injecció però amb la diferència que subministren gotes de material mitjançant els injectors. La naturalesa d'aquest procés permet imprimir diferents materials en la mateixa peça [50]. Això s'utilitza sovint quan es requereixen estructures de suport en la construcció de la peça.

1.4.4.1. Processos

Es troben tres processos diferenciats que treballen amb materials diferents: Material Jetting MJ (polímers), Nano particle jetting NPJ (metall) i Drop-On-Demand DOD (cera).

- **Material Jetting**

Aquest procés té un funcionament similar a una impressora d'injecció de tinta estàndard, però en comptes d'imprimir una sola capa de tinta, es basa en construir capes una sobre l'altra per crear una peça sòlida. El capçal d'impressió proveeix centenars de petites gotes de fotopolímer i després també les cura (solidifica) mitjançant una llum ultraviolada [7]. Després de dipositar una capa i solidificar-la, la plataforma de construcció baixa un gruix de capa i el procés es repeteix.

A diferència de la majoria de tecnologies d'impressió 3D, que disposen o sinteritzen el material de construcció mitjançant tecnologies de deposició puntuals (un sol punt segueix un camí per completar l'àrea de secció transversal d'una capa), les operacions de MJ disposen el material de construcció d'una manera ràpida i en línia [50].

Per això, les impressores MJ poden imprimir diverses parts en una sola línia sense cap efecte sobre la velocitat de construcció. Si les peces estan col·locades correctament i l'espai dins de cada línia de construcció està optimitzat, MJ és capaç de produir peces a un ritme molt més ràpid que altres tecnologies d'impressió 3D. Els processos de captació de materials requereixen suport i això s'imprimeix simultàniament durant la creació a partir d'un material soluble que es retira durant el processament de forma senzilla. Aquesta és una de les úniques tecnologies que ofereixen impressions multimaterials i de color.

- **Raig de nanopartícules (NPJ)**

La injecció de nanopartícules (NPJ) utilitza un líquid que conté nanopartícules metàl·liques o nanopartícules de suport, carregades en un espai similar a un cartutx. Aquestes nanopartícules són injectades a la placa de construcció de forma de fines gotes[58]. Simultàniament es depositen les nanopartícules i un material de suport soluble que, posteriorment, s'elimina amb facilitat. Les altes temperatures fan que el líquid s'evapori mostrant les petites partícules que conformen la peça.

En permetre la impressió de dos materials simultàniament, ja sigui en metall o ceràmica, NPJ ofereix certs avantatges sobre altres tecnologies; incloent precisió d'alta resolució i llibertat de disseny gràcies al material de suport fàcilment soluble [59].

- **Drop On Demand (DOD)**

Les impressores DOD tenen dos capçals d'impressió; un per dipositar els materials de construcció (normalment un material de cera) i un altre per a material de suport soluble [56]. Igual que altres tècniques AM, les impressores DOD segueixen un camí predeterminat i depositen el material de manera puntual (a diferència del material Jetting que diposita

material en una línia). Les impressores DOD també utilitzen un Hy-cutter per garantir una superfície perfectament plana abans d'imprimir la següent capa. La tecnologia DOD s'utilitza normalment per produir patrons i la fabricació de motlles.

1.4.4.2. Precisió dimensional

Aquesta tecnologia es considera la forma més acurada d'impressió 3D perquè no hi ha cap calor implicat en el procés d'impressió (que no sigui la calefacció inicial de la resina a una temperatura d'impressió idònia). És per això que la deformació i la contracció són poc freqüents. La precisió d'aquesta tècnica disminueix a mesura que es fan peces més grans. La majoria de problemes de precisió dimensional es relacionen amb funcions i parets primes que s'imprimeixen a segons les especificacions de la impressora. S'ha de tenir cura en manipular les peces produïdes a través de MJ, ja que poden canviar la seva dimensió a causa de l'exposició a la calor, humitat o llum solar.

1.4.4.3. Materials

Igual que la tecnologia SLA, MJ empra resines de fotopolímers termoenduribles per a la construcció de les peces. La resina es llança en gotes polvoritzades a la plataforma de construcció i després es tracta amb llum ultraviolada. Per això, la tecnologia de Material Jetting requereix materials de baixa viscositat per tal que puguin ser ben polvoritzats. La majoria de les resines s'escalfen (de 30 a 60 °C segons la impressora i el material) a mesura que s'imprimeixen. A diferència de la majoria de tecnologies d'impressió 3D, el procés de injecció de material, requereix dues resines diferents durant la impressió: un com a material principal de construcció de la peça i un altre com a material de suport.

Atès que Material Jetting utilitza centenars de minúscules filtres per injectar el material de construcció, és possible produir impressions amb múltiples materials. També s'utilitza amb cartutxos de color per produir impressions a color. Els cartutxos de resina utilitzats a les màquines Jetting de material costen al voltant de 300 - 1000 €/kg.

La Taula 1.15 presenta algun dels materials més comuns les principals característiques associades a cada una d'ells [50].

Material	Marques comunes	Característiques
Estàndard	Vero, VeroBlue, Visijet M2, Visijet CR, impressions a tot color	<ul style="list-style-type: none"> – Plàstic rígid i opac – Simula les peces modelades per injecció – Fràgil
Flexible	Tango, Visijet M2-E	<ul style="list-style-type: none"> – Àmplia gamma de flexibilitats disponibles – Durabilitat personalitzable – Allargament deficient i estirament en comparació amb els materials tradicionals
Polipropilè	Rigur, VisiJet M5 Negre	<ul style="list-style-type: none"> – Simula les peces PP – Bona resistència a la flexió – Fràgil
ABS	Digital ABS, Visijet M3-X	<ul style="list-style-type: none"> – Resistència a altes temperatures - S'utilitza per a motlles d'injecció de baixa velocitat – Fràgil
Modelable	VisiJet M3 DentCast, VisiJet M3 ProCast, InduraCast Wax	<ul style="list-style-type: none"> – Sense cendres després de la crema – Formes optimitzades
Temperatura alta	RGD525, Visijet M3-X	<ul style="list-style-type: none"> – Excel·lents propietats HDT – 1,5x més alt que ABS
Transparent	VeroClear transparent, Visijet M2, Visijet CR	<ul style="list-style-type: none"> – Es pot processar el 100 %
Mèdic-certificat	MED 610, Crystal VisiJet M3	<ul style="list-style-type: none"> – Es pot esterilitzar – Biocompatibilitat a curt termini – Apte per a aplicacions dentals i mèdiques

Taula 1.15: Materials comuns d'injecció de material. Adaptat de [50]

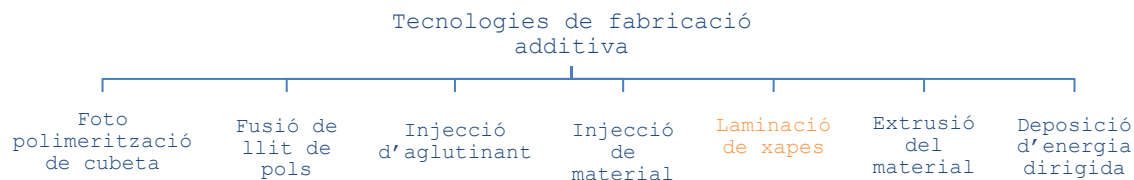
1.4.4.4. Beneficis i limitacions

La tecnologia d'injecció de material es caracteritza principalment per tres avantatges. En primer lloc, les peces creades amb MJ tenen propietats mecàniques i tèrmiques homogènies [58] ja que les capes es conformen i són tractades al llarg del procés d'impressió. En segon lloc, les peces produïdes amb Material Jetting tenen una superfície molt llisa i amb una precisió excel·lent, comparable a les peces modelades per injecció. L'aspecte escalonat freqüent en altres tecnologies de fabricació additiva emprant polímers com les presents en el "FDM" no és prevalent emprant aquesta tecnologia [7]. Finalment, Material Jetting es una tecnologia que permet crear prototips visuals amb multimaterials. Tots aquests factors donen lloc a la utilització regular de Material Jetting per a prototips realistes, no funcionals, que representen estretament les parts finals.

Igual que el SLA, que també utilitza fotopolímers per a produir peces, les majors limitacions del Material Jetting són que les peces produïdes presenten propietats mecàniques pobres i solen ser molt fràgils. El material injectat afecta que les peces no siguin tan resistents com altres processos sense niló. La naturalesa fràgil de la resina a base d'acrílic pot ser un problema per a les proves funcionals i per això aquesta tecnologia sol ser adequada per a prototips no funcionals. La baixa desviació tèrmica dels materials també poden ser un problema per a la majoria de proves del món real o aplicacions funcionals. Per a materials de goma, la manca d'elongació pot suposar un inconvenient en el moment de conformar peces [50].

La injecció de material és un dels mètodes més cars de la impressió 3D en comparació amb les altres tecnologies. Això es deu a l'alt cost del material. A diferència d'altres tecnologies, Material Jetting imprimeix el suport com a massa sòlida, resultant en una gran quantitat de residus que augmenten encara més el cost material ja alt.

1.4.5. Processos de laminació de xapes



El procés de laminat de xapes (SL) s’empra principalment per a produir objectes de color amb una alta resolució [60]. El procés de laminació es basa en col·locar el material per tal que s’adhereixi a la placa de construcció mitjançant un adhesiu. Un cop s’ha definit la forma requerida, es talla la capa amb un làser o una estri tallant. Seguidament s’afegeix la següent capa i el procés es torna a repetir [61].

Les capes es troben recobertes amb adhesiu i s’uneixen successivament capa a capa de forma similar a altres tecnologies d’impressió additiva. La precisió del resultat depèn principalment del gruix dels materials en capes utilitzades. Els objectes que s’imprimeixen amb aquesta tècnica poden modificar-se addicionalment mitjançant maquinaria en el post processament.

1.4.5.1. Procés principal

Aquesta tecnologia es caracteritza per tenir un procés que s’anomena fabricació d’objectes laminats (“Laminated Object Manufacturing” LOM) el qual treballa amb *composites*, plàstic o paper, tot i que també pot emprar làmines metàl·liques i ceràmics. No obstant això, aquests últims no és gaire freqüent.

Les làmines tenen una capa d’adhesiu que s’activa amb la calor a mesura que es va posicionant al lloc corresponent per tal de ser tallada [7]. Això permet que l’adhesiu s’adhereixi a la capa anterior. Seguidament és el làser qui traça la geometria .

1.4.5.2. Precisió dimensional

Aquesta tecnologia no proporciona una bona precisió geomètrica, per tant s'empra més per a produir models per a prototips o motlles per altres processos de fabricació tradicionals. Les mesures aproximades del paper o material per a realitzar la peça és de 820 x 560 x 510 mm. L'alçada mínima de la capa és de 0,05mm i la tolerància de 0,1 mm, oferint un acabat aspre a una velocitat ràpida.

1.4.5.3. Materials

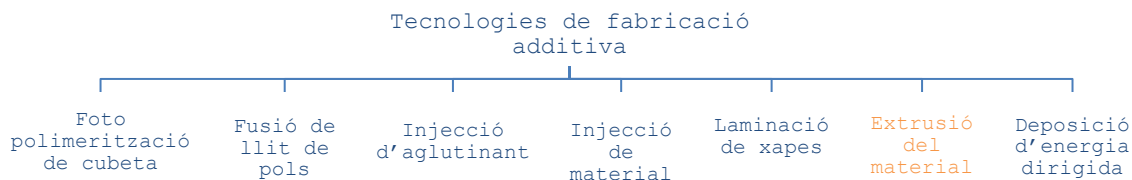
Per tant, en la tecnologia d'impressió 3D per laminació de fulles trobem materials d'impressió: Paper, plàstic o metall, tots ells en làmines [62]. L'únic aspecte que s'ha de tenir en compte és que el material s'ofereixi laminat per tal que pugui ser tallat de forma apropiada mitjançant un làser o una fulla afilada. A més hi ha la possibilitat de generar peces multimaterial, ja que qualsevol metall soldable pot ser utilitzat, així que es poden intercalar làmines de diferents materials segons les necessitats [25]. L'espessor de la fulla determina l'alçada de la capa.

1.4.5.4. Beneficis i limitacions

Aquesta tecnologia va ser desenvolupada per l'empresa "Cubic Technologies" abans denominada "Helisys Inc.". Entre els beneficis d'aquesta tecnologia es troba el baix cost d'operació, degut que la matèria prima és rentable. No obstant això, LOM no es tant prevalent amb altres tecnologies i es deu principalment a les propietats del material de les peces obtingudes i a la baixa precisió geomètrica inherent a la tecnologia [7]. La laminació no permet crear peces tan precises com altres mètodes d'impressió 3D com SLA o SLS. No és el procés adequat per a geometries complexes ni prototips funcionals.

Tot i això, aquesta tecnologia té altres beneficis com que no presenta reaccions químiques per a la construcció de la peça, no requereix altes temperatures ni necessita una càmera de buit, es poden fabricar motlles en major dimensions que en altres tecnologies similars (SLA o SLS) i es requereixen poques operacions de post processament [7][63]. A més a més, permet crear la peça amb cables o electrònica integrada i l'ús de diferents materials en una mateixa peça.

1.4.6. Processos d'extrusió del material



Les impressors d'extrusió de materials utilitzen una cadena de material termoplàstic sòlid (filament), empenyent-lo a través d'un filtre calent el qual es fon en el procés. La impressora diposita el material en una plataforma de construcció en un camí predeterminat, on el filament es refreda i solidifica per formar una part sòlida.

1.4.6.1. Procés principal

Es mostra a continuació el procés característic de la tecnologia de Extracció del material. En la imatge es mostra una part de les etapes que es duu a terme en aquest procés de generació [64].



Figura 1.34: Etapes del procés FDM. Font [64]

- **Modelat per deposició fosa (Fused Deposition Modelling FDM)**

La tecnologia d'extrusió de materials més comuna és la fabricació de filaments fusionats (FFF o coneguda més sovint com a modelatge de depòsits fusionats o FDM, un terme registrat per Stratasys). Es carrega una bobina de filament a la impressora i es transmet al capçal d'extrusió. Una vegada que el filtre de la impressora ha arribat a la temperatura desitjada, un motor condueix el filament a través del filtre calent que es fon. A continuació, la impressora mou el cap d'extrusió al voltant i deposita el material fos en un lloc precís, on es refreda i es solidifica. Un cop completada la capa, la plataforma de construcció baixa l'alçada d'una capa i el procés es repeteix creant la peça capa per capa [50].

1.4.6.2. Precisió dimensional

El procés FDM va produint la peça capa per capa extrudint un termoplàstic a una placa de construcció. Com les diferents parts de la impressió es refreden a diferents velocitats, les tensions internes fan que cada capa de la impressió es deformi lleugerament, provocant una deformació o contracció. Les parts més grans o els detalls primers es troben especialment en risc de deformar-se a causa de les grans variacions de temperatura. Les solucions com ara les bales d'impressió (una capa base impresa al llit per a la construcció que s'imprimirà) i els llits climatitzats poden ajudar reduir les tensions internes degudes al gradient de temperatures.

1.4.6.3. Materials

La impressió FDM fa ús de termoplàstics en forma de filament en bobines, típicament de 1,75mm o de 3mm de diàmetre. Els filaments FDM solen ser de baix cost (entre 20 i 40€/Kg), tot i que els filaments amb millor rendiment com el PEEK poden costar més de 450€/kg. Una característica de la impressió FDM és que els filaments es troben en una àmplia gamma de colors [50].

La regla general per als termoplàstics és si les seves propietats són bones, major serà la temperatura necessària per escalfar a un estat mal·leable i, per tant, el material serà més difícil per imprimir. Les temperatures d'impressió més elevades augmenten la probabilitat de deformació, ja que les parts es refreden a un ritme més gran, generant tensions internes més intenses.

Els materials més emprats solen ser ABS, PLA i PC (policarbonat), tot i que també es sol emprar materials com el PVA (alcohol polivinil) per a les estructures de suport que s'han de construir si la geometria de la peça o requereix, especialment s'empra per la seva fàcil solubilitat [7]. Els filaments per a fabricació de suport solen ser de PCA o Ultimaker Breakaway, ja que és soluble en aigua [49].

La Taula 1.16 presenta algun dels materials més comuns les principals característiques associades a cada una d'ells [49] [50] [65] [66] [67] [68].

Material	Marques comunes	Característiques
ABS	eSur, Stratasys, Ultimaker	<ul style="list-style-type: none"> – Bones propietats mecàniques – Bona resistència a la temperatura – Sensible a la deformació
ABS FP	3D CPI	<ul style="list-style-type: none"> – ABS retardant de la flama – Filament ignífug que compleix l'estàndard d'inflamabilitat de materials plàstics UL 94V0.
ABS HI	Filament2Print	<ul style="list-style-type: none"> – Alta resistència a l'impacte (grans esforços mecànics)
CPE, CPE+	Ultimaker	<ul style="list-style-type: none"> – Resistents als productes químic – Bona estabilitat dimensional – Opció emprada per a prototips funcionals i per a parts mecàniques – CPE + proporciona el benefici afegit d'una resistència a la temperatura més alta i una major resistència a l'impacte
PLA	ColorFabb (PLA/PHA,) Formfutura, Innofil, Polymaker, Ultimaker	<ul style="list-style-type: none"> – Plàstic d'impressió 3D més comú – Fàcil d'imprimir – Econòmic – Resistència a l'impacte més baixa, allargament i resistència a la temperatura que l'ABS
PC	Filament2Print, Ultimaker	<ul style="list-style-type: none"> – Per a altes temperatures (fins a 110°C), mantenint l'estabilitat dimensional – Alta resistència a la tracció i a l'impacte – Imprimir motlles, eines, prototips funcionals i peces per a la fabricació a curt termini

Nylon (PA)	Stratasys, Ultimaker	Taulman3D,	<ul style="list-style-type: none"> – Adequat per a impressions d'ús final (durabilitat) – Bones propietats mecàniques – Material no abrasiu – Bona flexibilitat – Baixa fricció – Excel·lent resistència química (a la corrosió)
Nylon+fibra de carboni	JCR3D Smart Printer		<ul style="list-style-type: none"> – Excel·lents propietats tèrmiques i mecàniques
PETG	ColorFabb (XT), eSun		<ul style="list-style-type: none"> – Alta resistència als impactes i químics – Bones propietats tèrmiques – Sensible a la deformació
TPU	Ninjabflex, Ultimaker TPU 95A, Polymaker Polylex		<ul style="list-style-type: none"> – Peces flexibles i de goma – Bona allargament – Difícil d'imprimir amb precisió – El TPU 95A és un filament semi-flexible resistent a productes químics amb una forta capa d'enllaç i més fàcil d'imprimir que els altres TPU
PEI	Stratasys (ULTEM)		<ul style="list-style-type: none"> – Excel·lent resistència al pes – Resistència al foc i químics – Cost elevat
PP	Ultimaker		<ul style="list-style-type: none"> – Alta resistència a la fatiga – Bona resistència química, de temperatura i elèctrica – Emprat per a prototips i productes amb ús funcional

Taula 1.16: Materials comuns extrusió de material. Adaptat de [49] [50] [65] [66] [67] [68].

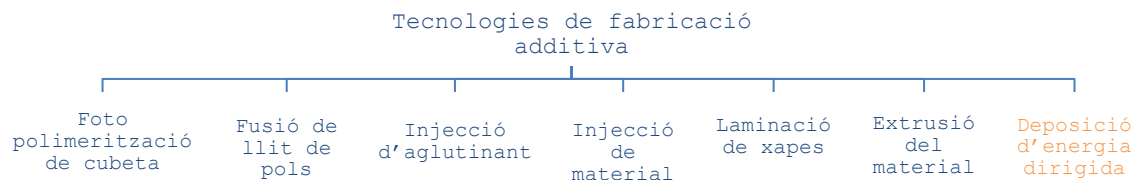
1.4.6.4. Beneficis i limitacions

Els materials i les màquines de baix cost, així com la facilitat d'operació, fan que el procés FDM ofereixi una forma molt competitiva de costos de produir peces termoplàstiques personalitzades. Amb una àmplia gamma de materials disponibles, FDM és l'elecció més habitual per a prototips ràpids, així com algunes aplicacions funcionals, principalment per a ús no comercial i representa la base d'instal·lació més gran d'impressores 3D a nivell mundial.

Les principals limitacions del FDM es centren al voltant de la naturalesa anisotròpica de les peces. La naturalesa de la confecció capa a capa de la impressió FDM provoca parts que són fonamentalment més febles en una direcció. Té rellevància la orientació d'una peça durant el procés d'impressió. És important que un dissenyador entengui l'aplicació d'una peça i com l'orientació de la construcció afecta el rendiment.

El percentatge d'injecció també té un efecte sobre la força d'una peça. Els nivells més alts d'integració resulten més forts, però augmenten el temps i els costos de construcció [50]. El mètode d'impressió capa a capa també significa que és probable que les parts de FDM tinguin línies de capa visibles i, sovint, requereixin algun tipus de post-processament si és desitjable un acabat superficial llis.

1.4.7. Processos de deposició d'energia dirigida



Aquest apartat mostra els subgrups que existeixen en les tecnologies de deposició mitjançant energia dirigida. Aquests processos s'empren principalment per a metalls i utilitzen energia dirigida per aconseguir la fosa del metall. El material és subministrat pel capçal o bé en forma de pols o de filferro. El metall fos es deposita sobre la plataforma de construcció o sobre la capa que s'està confeccionant.

1.4.7.1. Processos

Es troben dos processos diferenciats que treballen amb materials diferents: Laser Engineered Net Shape (LENS) i Electron Beam Additive Manufacture (EBAM). Aquests processos es diferencien entre ells principalment per la font d'energia que empren per a fondre el metall i per la forma en la qual es troba aquest (pols o filferro).

- **Forma de xarxa dissenyada per làser (LENS)**

Aquesta tecnologia també es coneguda com Format per làser en pols ("Laser Powder Forming", LPF), Deposició directa de metall ("Direct Metal Deposition", DMD) i Consolidació làser ("Laser Consolidation", LC). L'ús dels diferents termes es deu a un tema comercial.

Aquest procés empra un làser de CO₂ de fins a 4kW per a fondre el material, subministrat en forma de pols [7]. LENS empra un capçal làser, broquets dispensadors i tubs de gasos inerts. El làser crea una capa de fusió en la zona de construcció i es polvoritza en pols a la placa, on es fon i solidifica [69].

Hi ha moltes empreses que utilitzen aquest procés, és el més emprat en la tecnologia per deposició d'energia dirigida (DED). Hi ha màquines LENS que disposen de sensors de retroalimentació per a determinar si la peça s'està conformant segons les dades establertes en el fitxer CAD.

Per evitar que succeeixin processos d'oxidació o contaminació del metall amb gasos atmosfèrics, el procés es duu a terme de dues maneres o combinant ambdues. La primera es basa en emprar una cambra hermètica en la qual s'insereix gas inert per tal de controlar els nivells d'oxigen. L'altra mètode consisteix que el capçal d'injecció amb gas inert que cobreixi la zona de construcció de la peça [7].

- **Fabricació d'additius de feix d'electrons (EBAM)**

L'EBAM s'utilitza per crear peces metàl·liques utilitzant pols metàl·lica o filferro soldat entre si mitjançant un feix d'electrons com a font de calor. La diferència respecte el procés anterior és que, tot i que la confecció de peces sigui similar, els feixos d'electrons són més eficients que els làsers i operen al buit per a fondre el material de treball i dur a terme la fabricació additiva [69][7]. A més a més, EBAM empra material en filaments que es troben en bobines de filferro.

1.4.7.2. Precisió dimensional

En els processos LENS, les velocitats de construcció poden estar compreses entre $160\text{cm}^3/\text{h}$ fins a $200\text{cm}^3/\text{h}$ [70], és a dir que es pot arribar a depositar fins a mig kilogram de material per hora, en funció de la densitat. Les peces fabricades poden ser tractades posteriorment amb processos superficials per tenir acabats llisos, tal com es pot veure en el vídeo recomanat a la font [71]. La pols subministrada en la placa de construcció lloc s'absorbeix en el conjunt de fusió, generant així un dipòsit que pot variar des 0,13 a 1 mm de gruix i de 1 a 4 mm d'ample.

Pel que fa als processos EBAM, les velocitats de construcció es troben al voltant de $4000\text{cm}^3/\text{h}$, però cal destacar que presenta un acabat superficial pobre en la resolució dels eixos X-Y. Això afecta que s'hagi de dedicar més temps al post processament per a obtenir els acabats superficials desitjats, dificultant al seu torn, la precisió dissenyada al fitxer CAD.

1.4.7.3. Materials

Les tecnologies DED s'utilitzen exclusivament en la fabricació d'additius metàl·lics. La naturalesa del procés significa que són ideals per reparar o afegir material als components existents. El proveïdor més comú en LENS és Optomec, mentre que en EBAM és Sciaky Inc [69].

En la Taula 1.17 es poden observar materials emprats en la tecnologia LENS.

Material	Marques comunes	Característiques
Acers	Acer d'eines H13 i S7 Acers inoxidables 316 L, 420, 17-4 PH, 15-5 PH Acer de motlle P20, P21 Invar Acers P / M, CPM 1V, 9V, 10V, VIMCRu 20	<ul style="list-style-type: none"> – Acer d'enduriment martensític, alta tenacitat, resistència a la tracció i baixes propietats de deformació. – Es pot mecanitzar, endurir i soldar fàcilment. – Alta mal·leabilitat.
Aliatges de cobalt	Stellites 6, 21, 31	<ul style="list-style-type: none"> – Bona resistència al desgast – Grans propietats mecàniques a temperatures elevades
Aliatges de níquel	Inconel 718, 625 C-276 Nistelle C Wasp alloy	<ul style="list-style-type: none"> – Excel·lent rendiment, resistència a la tracció i ruptura per fluència a altes temperatures – Usat per a aplicacions d'alta resistència en ambients extrems – Excel·lent soldabilitat – Alta resistència a la corrosió (IN625). – Resistent a les picades, a la corrosió d'esquerdes per corrosió sota tensió en ambients de clorur (IN625)
Aliatges de titani	CP Ti Ti-6Al-4V	<ul style="list-style-type: none"> – Excel·lents propietats mecàniques i resistència a la corrosió amb un baix pes específic. – Excel·lent relació resistència / pes, mode de fabricació i biocompatibilitat

Cermets (materials compostos ceràmics i metàl·lics)	Base ferrosa i carbur, 4140 + WC	–	Aplicacions en la indústria de la construcció
	Base de níquel i carbur, In625 + WC		
	Base de cobalt i carbur, Stellite 21 + WC		

Taula 1.17: Materials comuns en el procés LENS. Adaptat de [50].

En la Taula 1.18 s'observen els materials emprats en la tecnologia EBAM.

Material	Marques comunes	Característiques
Acers	Acer inoxidable	– Acer d'enduriment martensític amb bona tenacitat, resistència a la tracció i baixes propietats de deformació
	Superaliatges d'acer com "Vascomax" i 15-5PH	– Es pot mecanitzar, endurir i soldar fàcilment.
		– Alta mal·leabilitat
Aliatges de níquel	Inconel 718, 625	– Excel·lent rendiment, resistència a la tracció i ruptura per fluència a altes temperatures
		– Usat per a aplicacions d'alta resistència en ambients extrems
		– Excel·lent soldabilitat
		– (IN625) Alta resistència a la corrosió, picades, d'esquerdes per corrosió sota tensió en ambients de clorur.
Aliatges d'alumini	Aluminuro de Titani (TiAl3)	– Alta resistència i duresa
		– Bones propietats mecàniques i tèrmiques quan es requereix un baix pes específic
Altres	Compostos de matriu metàl·lica (titani) o aliatges	– Aquests materials tenen funcions molt específiques.

Taula 1.18: Materials comuns en el procés EBAM. Adaptat de [50].



















1.4.7.4. Beneficis i limitacions

Pel que fa a la tecnologia LENS, presenta problemes de tensions tèrmiques residuals, però no tant accentuades com les de fusió de lilit de pols. Aquets dos processos mencionats fonen pols metàl·lic i, depenent del material, es poden alleugerar les tensions mitjançant processos de post processament. Es realitzen refredaments ràpids per aconseguir una microestructura amb grans fins, augmentant la rigidesa de les peces [7].

En referència a la tecnologia EBAM, és rellevant per a fabricar peces de grans dimensions, com ara components estructurals en temps reduïts. La dedicació posterior a realitzar un cop finalitzada la peça és acceptable atenent que es tracta de les poques tecnologies que pot generar peces tan grans amb materials exigents en l'àmbit de la enginyeria.

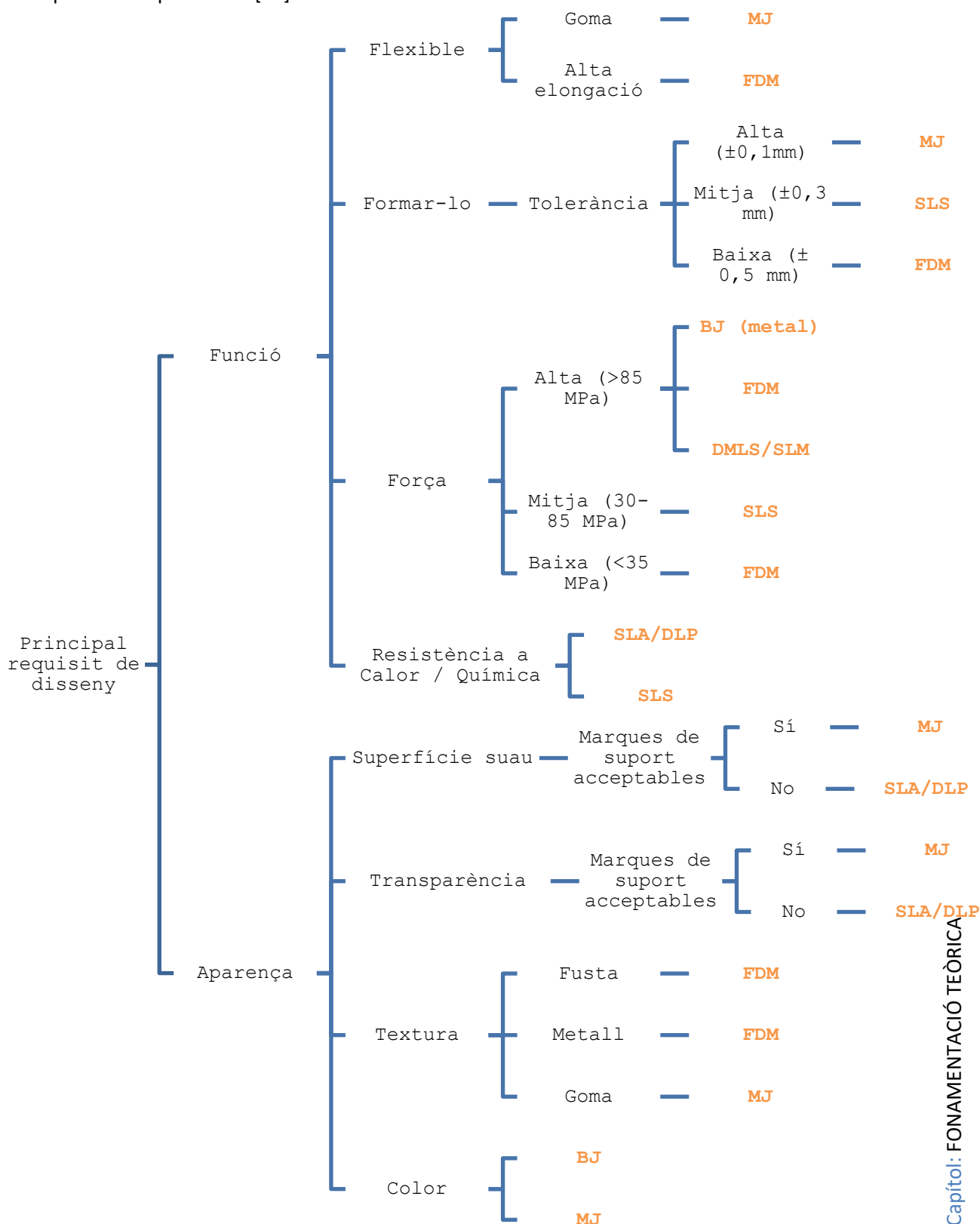
1.5. Consideracions finals

A continuació es presenta la Taula 1.19 com a resum de les tecnologies d'impressió additiva i materials emprats, els quals es troben més detallats a l'apartat anterior.

TECNOLOGIA	PROCESSOS	MATERIALS
FOTO POLIMERITZACIÓ DE CUBETA	Estereolitografia (SLA)	Polímers 
	Processament de llum directa (DLP)	Polímers 
	Processament de llum directa continua (CDLP)	Polímers 
FUSIÓ DE LLIT DE POLS	Multi Jet Fusion (MJF)	Polímers 
	Sinterització selectiva por làser (SLS)	Polímers 
	Sinterització directa amb làser metàl·lic (DMLS/SLM)	Metall 
	Fusió de feix d'electrons (EBM)	Metall 
INJECCIÓ D'AGLUTINANT	Procés d'injecció d'aglutinant - Sorra (BJ)	Polímers i sorra 
	Procés d'injecció d'aglutinant - Metall (BJ)	Metall 
INJECCIÓ DE MATERIAL	Material Jetting (MJ)	Polímers 
	Drop On Demand (DOD)	Cera 
LAMINACIÓ DE XAPES	Fabricació d'objectes laminats ("Laminated Object Manufacturing" LOM)	Paper 
		Polímers 
		Composites 
EXTRUSIÓ DE MATERIAL	Modelat per deposició fosa (FDM)	Composites 
		Polímers 
DEPOSICIÓ D'ENERGIA DIRIGIDA	Forma de xarxa dissenyada per làser (LENS)	Metall 
	Fabricació d'additius de feix d'electrons (EBAM)	Metall 

Taula 1.19: Taula resum de les tecnologies d'impressió additiva i materials emprats. Imatges Font:[72]–[74]

Seleccionar el procés adequat és tasca complexa i s'ha de tenir en compte la funcionalitat de la peça a confeccionar. Per això es mostra un esquema per a guiar aquest procés de selecció del procés adequat. Font: [75].





CAPÍTOL 2: SOCIETATS DE CLASSIFICACIÓ EN LA INDÚSTRIA DE LA FABRICACIÓ ADDITIVA

2. SOCIETATS DE CLASSIFICACIÓ EN LA INDÚSTRIA DE LA FABRICACIÓ ADDITIVA

2.1. Introducció

En el sector de la construcció naval, les Societats de Classificació (SC) són unes organitzacions no governamentals que es dediquen, entre d'altres activitats, a la classificació d'embarcacions. La majoria són empreses sense ànim de lucre governades per comitès que representen als armadors, naviliers, drassanes, asseguradores, noliejadors i altres operadors del transport marítim. Algunes de les societats de classificació es troben organitzades com empreses convencionals dirigides pels seus corresponents consells d'administració [76][77].

Periòdicament les SC realitzen diferents inspeccions en les quals s'atorguen certificats classe a fi de garantir el compliment de les especificacions establertes per la seva organització. Mitjançant aquesta categoria (classe) es classifiquen les embarcacions.

La *International Association of Classification Societies* (IACS) és una associació creada l'any 1968 i agrupa 12 de les societats de classificació més destacades. Actualment existeixen diferents Societats de Classificació d'entre les quals es destaquen les següents membres de la IACS: Det Norske Veritas - Germanischer Lloyd (DNV-GL), Lloyd's Register of Shipping (LR), American Bureau of Shipping (ABS), Registro Italiano Navale (RINA), Bureau Veritas (BV), Russian Maritime Register of Shipping (RS), Croatian Register of Shipping (CRS), Nippon Kaiji Kyokai (NKK), Polish Register of Shipping (PRS), China Classification Society (CCS), Korean Register of Shipping (KR), Indian Register of Shipping (IR Class) [77].

Fins ara, en aquest treball s'han estudiat els diferents processos a fi d'obtenir una llista de materials que s'empren en aquesta tecnologia de fabricació additiva. Però, tots aquests materials estan reglamentats per les normatives del sector naval?

Les SC estableixen normatives en les quals s'indica un marge de possibilitats de les especificacions que han de complir els materials emprats en una embarcació, amb la finalitat de preservar la seguretat de la tripulació, la carga transportada i el medi marí. Per arribar a obtenir una llista de materials, es procedeix al següent procés:

- Fer una primera selecció de les tecnologies estudiades en apartats anteriors. Aquesta selecció es duu a terme a partir d'uns criteris a fi d'acotar el llistat de materials

emprats en el sector naval. Aquesta selecció es fa a partir d'uns criteris propis establerts.

- Determinar les propietats principals que han de complir els materials en les embarcacions d'esbarjo. Aquest llistat de característiques són definides per societats de classificació i altres normatives.
- Comparar els materials que es poden imprimir amb tecnologia de fabricació additiva i les normes establertes en el punt anterior.
- Determinar els materials aptes per a la fabricació de peces en el sector naval en AM.

No totes les societats de classificació (SSCC) han regulat normatives de impressió additiva però d'alguna forma o altra les SSCC procuren implementar la nova indústria 4.0. D'entre les normatives de la IACS destaquen Lloyd's Register Marine, Bureau Veritas i DNV GL.

Lloyd's Register ha participat en la regulació del projecte 3DCABINS [78], el segon projecte de fabricació additiva implementat a NAVANTIA amb l'objectiu de validar la tecnologia i materials.

Bureau Veritas va classificar la primera hèlix de tres pales a escala real impresa amb tecnologia 3D [79]. Va ser provada a la drassana Damen als Països Baixos i va ser un treball exitós.

La Societat de Classificació DNV GL va publicar el novembre de 2017 la primera guia de classe per a productes confeccionats mitjançant fabricació additiva en el context de la indústria marítima. El principal objectiu d'aquesta guia és donar suport en la implementació de noves tecnologies al sector com a mètode alternatiu per a la fabricació d'elements. La guia de DNV GL informa dels processos de fabricació additiva de metalls (PBF, DED, EMB, SLS/SLM, LENS, EBAM) i el procediment a seguir per tal de poder classificar un vaixell que ha emprat tecnologia AM. A més a més, indica els assajos destructius i no destructius que han de superar les peces conformades amb tecnologia additiva [80].

2.2. Determinació de les tecnologies de principal interès en la indústria naval

Per a concretar, a efectes d'aquest Treball Final de Grau, amb interès en el sector naval, s'entén que s'estudien les tecnologies que poden usar-se per a fabricar peces o components d'alta qualitat que puguin satisfer les exigències del sector naval (les normatives pròpies de les embarcacions d'esbarjo, societats de classificació,...). També s'estudien les tecnologies que empen materials característics del sector i que puguin satisfer els graus de complexitat

geomètrica per un material donat. Un altre factor que és mostrar interessant és poder realitzar reparacions de peces que han sofert desgast pel pas del temps. Així doncs, la primera selecció de processos es determinar a partir d'uns factors tècnics:

- Es tracta d'una tecnologia que pot fabricar amb **precisió** peces amb alts graus de **complexitat** pròpies del sector naval. La precisió en aquest àmbit es mesura com la capacitat de realitzar peces amb primes capes amb un petit grau de tolerància. La complexitat és la capacitat de poder realitzar peces amb geometries que difícilment de forma tradicional es podrien construir. Ambdues propietats es troben lligades, ja que ofereixen la realització de qualsevol disseny detallat, un aspecte important a valorar.
- Es tracta d'una tecnologia que empra **materials propis del sector naval**, atenent aspectes com el desgast, la fatiga, resistència a temperatures elevades, porositat, defectes interns i la corrosió, és a dir, oferint bones propietats mecàniques. Alguns d'aquests materials són principalment metalls com acers inoxidables, aliatges de níquel i coure o ferro i alumini, titani, alumini, fibra de vidre, materials compostos i, en menor mesura, també polímers i ceràmics.
- Es tracta d'una tecnologia que ofereix **diversitat d'aplicacions** com reconstruccions, motlles, prototips no funcionals i peces funcionals. La construcció naval es caracteritza per ser un sector que empra motlles per a la realització del casc del vaixell entre d'altres parts. També realitza prototips
- Es tracta d'una tecnologia que no requereix grans tractaments posteriors a la confecció de la peça. És a dir, per a la realització d'aquestes peces no es requereix un **post processament** excessiu, ja que la **qualitat d'acabat** és suficientment bona.
- Es tracta d'una tecnologia amb facilitat d'accés per a una empresa, és a dir, **econòmicament la maquinària és assumible**. És cert que també s'haurien de tenir en compte els costos de personal especialitzat en l'ús de la maquinària si s'escau, el material emprat, el cost de manteniment i el cost d'operació de la màquina. No obstant això, en aquesta selecció es tindrà en compte només el cost de la maquinària, assumint que el cost de personal és similar en les diverses tecnologies i que el cost de material és massa específic de cada procés i cada material per generar un criteri.
- Es tracta d'una tecnologia que té **poques despeses materials**. És a dir, o bé el material que cedeix en construir la peça és tot emprat en la construcció, o bé una gran part és reutilitzable.

Altres aspectes també són propis de consideració, com ara el cost del material i de la màquina, el temps de fabricació, propietats tèrmiques,... però aquestes propietats són més concretes i, tot i que siguin factors referents envers la indústria naval, es valoraran en apartats posteriors.

De forma que en aquest apartat es tenen en compte aspectes més genèrics i tècnics per a realitzar la primera distinció de tecnologies de principal interès en la indústria naval.

A continuació es mostra la Figura 2.1 en la qual s'observa de forma visual quines tecnologies compleixen de forma general les quatre exigències estipulades. En aquesta figura s'han representat les set tecnologies de fabricació additiva segons la classificació adoptada per ASTM. Per a cada grup de tecnologies es valoren els quatre criteris, assignant colors segons el grau de conformitat.

- El color **vermell** indica que la tecnologia cobreix deficientment aquell criteri i per tant, no és acceptat.
- El color **groc** indica que el criteri es cobreix de forma suficient, però s'han d'estudiar de forma més detinguda els materials propis.
- El color **verd** indica que el criteri es cobreix de forma satisfactòria.

Si tots els criteris són verds o tan sols un, dos o tres són grocs, es considera la tecnologia admissible (verda). Si hi ha dos o més criteris vermells es considerarà con inadmissible (vermella). En els altres casos, es considerarà que la tecnologia és admissible amb certes limitacions (grogas).

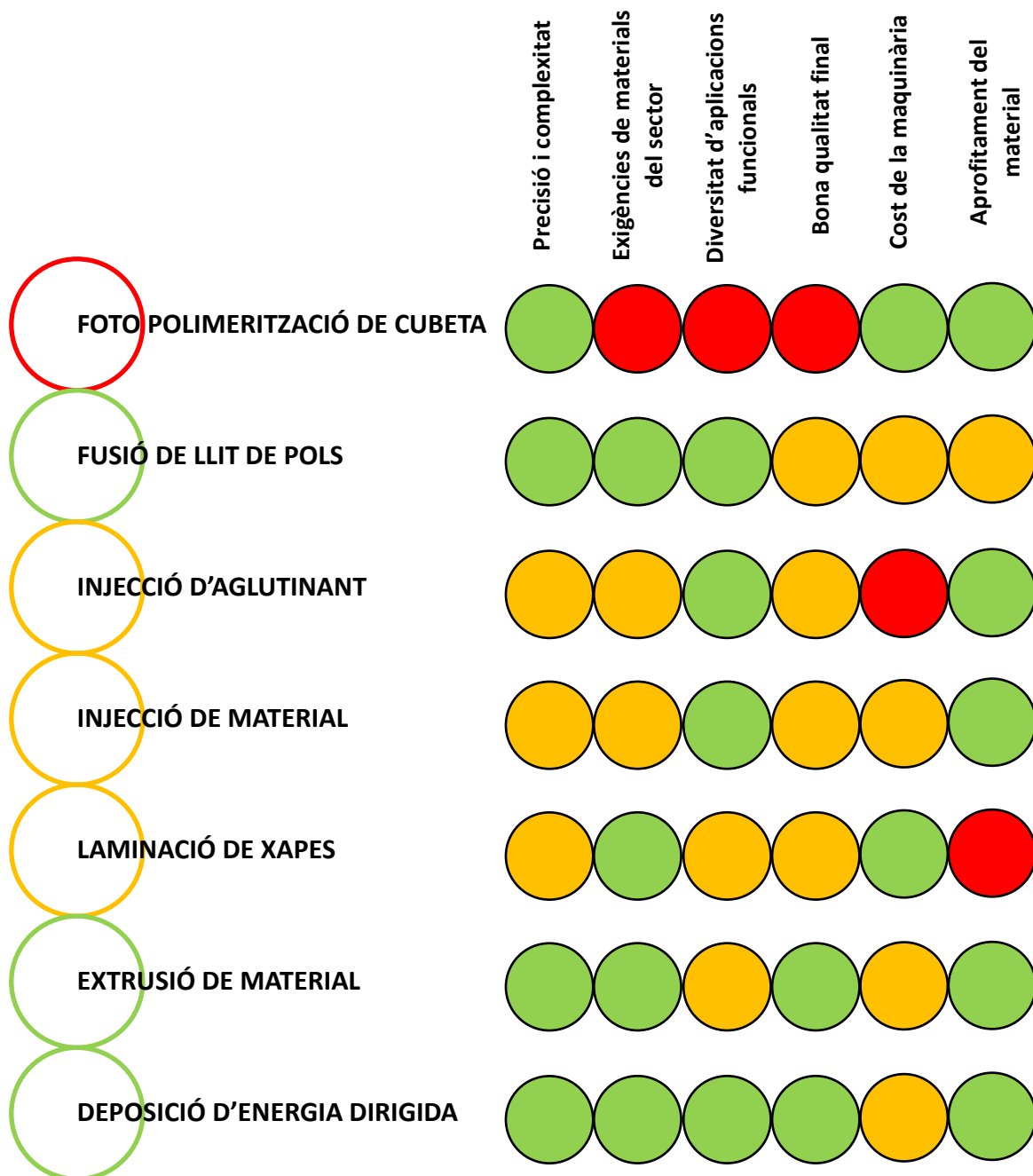


Figura 2.1: Esquema il·lustratiu de la primera selecció de tecnologies de fabricació additiva al sector naval. Font pròpia

El buidatge d'informació d'aquesta primera selecció de tecnologies de fabricació additiva s'ha realitzat envers la informació que s'ha anat detallant al llarg del capítol anterior. Es tracta d'un resum visual dels aspectes que es troben importants per a valorar com a criteri de selecció de tecnologia de fabricació additiva. Es pot observar que els processos més adients són:

- Deposició d'energia dirigida (DED)
- Extrusió de material (ME)
- Fusió de llit de pols (PBF)

De la mateixa manera s'observa que la injecció d'aglutinant, de material i la laminació de xapes, poden ser profitoses per aplicacions al sector de la construcció naval. Finalment, el procés de foto polimerització no és el més idoni per les aplicacions de construcció naval, principalment pels materials emprats, per tant no es considera apta.

Tot i que hi hagi tecnologies que es prestin a la consideració, per falta de temps d'abastar a tots els processos, en aquest treball s'estudiaran els tres processos que s'han trobat admissibles segons els criteris tècnics establerts: DED, ME i PBF.

El resum dels materials oferts per aquestes tecnologies són els següents:

Metalls	Polímers
Acers	ABS
Acers i acers inoxidables	ABS FP
Aliatges d'alumini	ABS HI
Aliatges de cobalt	Alumide
Aliatges de coure-níquel	CPE, CPE+
Aliatges de níquel	Materials compostos
Aliatges de Tàntal	Nylon (PA), Nylon 12
Aliatges de titani	Nylon+fibra de carboni
Cermets (materials compostos ceràmics i metàl·lics)	PA-GF (Glass filled)
Superaliatges de cobalt-crom	PC
	PEI
	PETG
	PLA
	PP
	TPU

Taula 2.1: Materials oferts per les tecnologies DED, ME i PBF. Font pròpia

2.3. Propietats dels materials establertes per normatives

La conformació d'una peça depèn de diferents paràmetres com per exemple la funcionalitat, la ubicació en l'embarcació, la vida útil, la economia,... i a partir d'aquests paràmetres s'estudia com la peça pot complir-los atenent als espessors mínims determinats per les normatives, la resistència a la tracció, torsió, calor... En funció d'aquests paràmetres, d'entre d'altres, es determina quin material és l'òptim per aquella peça.

En aquest apartat no es pot determinar totes les normatives que han de complir els materials, ja que depenen, com s'ha comentat prèviament, de molts paràmetres i no és possible generalitzar. És per això que s'ha optat per fer un estudi de la **UNE-EN ISO 12215-3:2019**, la qual fa referència als materials emprats en la construcció de petites embarcacions.

També s'ha valorat un altre aspecte important que les societats de classificació tenen molt en compte alhora d'escollir els materials. Es busca que es tracti d'un material ignífug i resistent a la corrosió, ja que l'ambient marítim es caracteritza per ser salí, aspecte que contribueix al desgast de les peces. Per això també es farà referència al **codi FTP** (Code for application of Fire Test Procedures), un codi d'aplicació de procediments de prova de incendis.

Finalment, per qualsevol dubte o aclariment de normatives, s'ha de tenir present la consulta de la normativa la qual s'acull l'embarcació d'estudi. En aquest cas es tindrà en compte el que estableix la **societat de classificació RINA**.

2.3.1. Propietats dels materials establert per UNE-EN ISO 12215-1:2019 i UNE-EN ISO 12215-3:2019

Els diferents materials que es poden emprar en embarcacions són diversos. A continuació es mostren alguns d'aquests materials: Acer, aliatges d'alumini, altres metalls, materials compostos.

Acers

Els materials coberts per la Norma ISO 12215 són objecte de nombroses normes internacionals i nacionals, així com les societats de classificació, actives en la tasca d'inspecció de vaixells i petites embarcacions. Les propietats de tot el metall emprat en la construcció de petites

embarcacions han de ser adequades al context marí. El metall ha de complir amb una norma nacional o internacional, regla de societat de classificació pertinent o estar recolzat per documentació per a validar la seva adequació per a ús marítim [81].

Segons [81] l'acer emprat en petites embarcacions ha de ser acer resistència normal (acer suau) o acer d'alta resistència.

- **Acer de resistència normal:** Aquests acers es caracteritzen per oferir una bona ductilitat i facilitat per a ser soldats. A més a més tenen una probabilitat reduïda de pèrdua de propietats mecàniques degut a la soldadura. Les propietats mecàniques mínimes han de ser:

Propietat	Valor límit
Límit elàstic	$R_{eH} = 235 \text{ N/mm}^2$
Resistència a la tracció	$R_m = 340 \text{ N/mm}^2$

Taula 2.2: Propietats de l'acer de resistència normal. Font: UNE-EN ISO 12215-3: 2003

- **Acer d'alta resistència:** Es pot emprar acer d'alta resistència en la construcció d'embarcacions tenint en compte que quan es presenti la càrrega per fatiga, la resistència efectiva a la fatiga d'una unió soldada pot no ser major de la de la unió soldada en acers de resistència normal. Les propietats mecàniques dels acers d'alta resistència han de ser:

Propietat	Valor límit
Límit elàstic	$R_{eH} = 315 \text{ N/mm}^2 \text{ a } 390 \text{ N/mm}^2$
Resistència a la tracció	$R_m = 440/570 \text{ N/mm}^2 \text{ a } 510/660 \text{ N/mm}^2$

Taula 2.3: Propietats de l'acer d'alta resistència. Font: UNE-EN ISO 12215-3: 2003

- **Acers austenífics:** Es poden emprar acers inoxidables austenífics per a la construcció de petites embarcacions tenint en compte les condicions ambientals i el disseny per

reduir la possibilitat de corrosió per picadures o esquerdes. En general, els aliatges adequats per l'ús marí són aquells amb una fracció de massa mínima del 12% de crom i una resistència equivalent a la corrosió per picadura (W) que sobrepassi ($W = \%Cr + 3,3Mo$) [81]. Les propietats característiques dels acers austenítics són les que es mostren a la Taula 2.4.

Propietat	Valor límit
Límit elàstic	$R_{eH} = 205 \text{ N/mm}^2$ a 310 N/mm^2
Resistència a la tracció	$R_m = 515 \text{ N/mm}^2$ a 620 N/mm^2

Taula 2.4: Propietats de l'acer austenític. Font: CesEduPack

Aliatges d'alumini

Segons [81] es poden emprar dos tipus d'aliatges d'alumini per a embarcacions petites: aliatges sense tractament tèrmic i aliatges amb tractament tèrmic. Aquests dos grups es caracteritzen per tenir, en diferents proporcions, Magnesi, Manganès i Silici. En la Taula 2.5 es mostra les propietats característiques d'un aliatge d'alumini (entre 97-99.8%) amb un 0.8% de magnesi i petites proporcions de crom, ferro, manganès i silici, entre d'altres materials.

No s'han d'emprar aliatges del grup alumini-coure ni alumini-zinc per a la construcció de petites embarcacions. Tan sols es poden emprar per a fins secundaris en petites embarcacions amb protecció especial. Es poden emprar els aliatges d'alumini-coure sense protecció per embarcacions previstes d'usar en entorns d'aigua dolça.

Propietat	Valor límit
Límit elàstic	$R_{eH} = 43 \text{ N/mm}^2$ a 47 N/mm^2
Resistència a la tracció	$R_m = 114 \text{ N/mm}^2$ a 126 N/mm^2

Taula 2.5: Propietats aproximades dels aliatges d'alumini. Font: CesEduPack

Altres metalls

Poden construir-se pes parts estructurals de petites embarcacions amb altres metalls que no siguin acers i aliatges d'alumini, com per exemple aliatges de coure i níquel.

Materials compostos

Els requisits per a les propietats del material emprat en embarcacions d'esbarjo es mostren a continuació.

- **Fibra de reforç:** El reforç emprat com a referència per aquesta norma internacional ha de ser vidre E segons la Norma ISO 2078. Es poden emprar altres tipus de fibres de vidre si compleixen amb les propietats mínimes del vidre E o les sobrepassa i el propi laminat té les mateixes característiques mecàniques o superiors. L'acabat i el lligant de les fibres de vidre ha de ser compatible amb el material matriu emprat.
- **Resines** Segons la norma ISO 12215-1:2000, les propietats de la capa de gel d'acabat, de la capa exterior i de les resines de laminació, han de complir amb els requisits de la taula següent:

Propietat	Requisit Tolerància sobre el valor nominal especificat pel fabricant (%)
Viscositat	± 20
Contingut del monòmer	± 5
Temps de gelificació (especificar l'activador i l'iniciador i el percentatge de cada un, i la temperatura ambient)	± 20
Densitat	± 5
Contingut del mineral (només resines per laminació)	± 5

Taula 2.6: Propietats de les resines líquides. Font: UNE-EN ISO 12215-3: 2003

Un cop curades, les resines de base de capa de gel d'acabat han de complir els requisits del tipus A de la Taula 2.7.

Propietat	Requisit Tipus de resina		
	A	B	C
Resistència final a la tracció (MPa min.)	55	45	45
Allargament al trencament (% min.)	2,5	1,5	1,2
Resistència final a la flexió (MPa min.)	1000	80	80
Mètode de flexió (MPa min.)	27000	27000	27000
Temperatura de deformació per calor (°C min.)	60	60	53
Absorció d'aigua (mg màx.)	80	100	100
Minva del volum total	Valor nominal especificat pel fabricant + 5%		
Duresa Barcol – Impresor 934-1 (min.)	35	35	35

Taula 2.7: Propietats de les resines curades. Font: UNE-EN ISO 12215-3: 2003

Pel que fa al laminat que s'han d'assolir, la normativa indica que, per qualsevol procés de fabricació, les propietats mecàniques del laminat de referència llistades en la Taula 2.8.

Propietat	Requisit (MPa)
Resistència final a la tracció	80
Mòdul de tracció	6 350
Resistència final a la flexió	135
Mòdul de flexió	5 200
Cisallament en el pla	50
Resistència aparent en el cisallament interlaminar (biga curta)	15

Taula 2.8: Propietats mecàniques mínimes del laminat de referència. Font: UNE-EN ISO 12215-3: 2003

2.3.2. Propietats de resistència al foc per la societat de classificació RINA

Un aspecte rellevant en la construcció naval són les propietats resistents al foc dels materials. Per això en aquest apartat es mostren propietats envers aquest paràmetre.

Segons [82] el casc, la superestructura, els mampares estructurals i cobertes, excepte les divisions d'incendis, i els pilars, s'han de construir amb materials no combustibles aprovats que tinguin propietats estructurals adequades. Alternativament, es pot permetre l'ús de materials combustibles si es prenen precaucions per preservar la integritat del casc en cas d'incendi en espais de maquinària de la categoria A³, espais de motor o altres espais de gran risc d'incendi. RINA mostra una descripció sobre els materials de protecció contra incendis.

Ús de materials no comburents

a) Materials aïllants

Els materials no combustibles, segons [83] han de ser incombustibles, excepte en espais de càrrega, sales d'equipatge i compartiments refrigerats d'espais de servei. Les barreres de vapor i els additius que s'utilitzen conjuntament amb l'aïllament, així com l'aïllament d'accessoris per a sistemes de servei en fred, no necessiten ser de materials no combustibles, però s'han de

³ Les propietats de resistència al foc són equivalents a les propietats de la divisió de foc de les classes A (integritat al foc de 60 minuts) o de classe B (30 minuts d'integritat contra el foc) requerida per aquestes regles.

mantenir a la quantitat mínima practicable i les seves superfícies exposades hauran de ser tenen baixes característiques de propagació de flama. (El servei de fred fa referència a sistemes de refrigeració i canonades d'aigua refrigerada per a sistemes de climatització).

b) Revestiments

Els vaixells de passatgers es caracteritzen per tenir tots els revestiments, llevat dels espais de càrrega de matèries no combustibles.

c) Embarcacions i cobertes parcials en vaixells de passatgers

Els mampares i les cobertes utilitzats per subdividir un espai han de ser de materials que no siguin combustibles.

Ús de materials comburents

a) Potència calorífica màxima de materials combustibles

Els materials combustibles utilitzats a les superfícies i revestiments han de tenir un poder calorífic que no superi els 45 MJ / m² de la superfície pel gruix utilitzat. Els requisits d'aquest paràgraf no són aplicables a les superfícies dels mobles fixats en els revestiments o mampares.

b) Volum total de materials combustibles

Quan s'utilitzin materials combustibles s'han de complir que el volum total de revestiments, motllures, decoracions i xapes combustibles en espais d'allotjament i servei no pot excedir un volum equivalent a una xapa de 2,5 mm a la zona combinada de les parets i els revestiments del sostre.

c) Característiques de propagació de flama de la superfície exposada en vaixells de passatgers (en conformitat amb el Codi de Procediments de prova d'incendi)

- Superfícies exposades en passadissos i escales d'escales i en revestiments de mampares i cobertes en espais d'acomodació i servei (excepte saunes) i estació de control.

- Superfícies i cobertes en espais ocults o inaccessibles en espais d'allotjament i serveis i estacions de control.
- Superfícies exposades dels balcons de la cabina, a excepció dels sistemes de cobertes de fusta naturals.

Ús d'aliatges d'alumini

Segons RINA [84], per a les estructures d'aliatges d'alumini, l'aïllament ha de ser tal que la temperatura del nucli estructural no s'elevi més de 200°C per sobre de la temperatura ambient en qualsevol moment durant l'exposició contra incendis aplicada.

Ús de materials compostos

Per a estructures compostes, segons [84], l'aïllament ha de ser tal que la temperatura del laminat no pugui superar la temperatura mínima de desviació sota càrrega de la resina en qualsevol moment durant l'exposició contra incendis aplicable. La temperatura de deflexió sota càrrega s'ha de determinar d'acord amb una norma internacional reconeguda.

2.3.1. Propietats dels materials establert pel codi FTP

Segons el codi FTP [85], l'administració ha d'aprovar els productes d'acord amb els seus procediments. Aquesta aprovació es pot fer a través d'altres entitats que certifiquin que compleixen amb les normatives. Els elements s'aproven i són vàlids quan el producte es troba instal·lat a bord d'un vaixell i han de ser acompanyats dades pròpies:

- nom i adreça del sol·licitant i del fabricant
- nom o la marca comercial del producte
- qualitats específiques per a les quals es vol aprovar
- dibuixos o descripcions del conjunt i materials del producte, així com instruccions, si escau, per a la seva instal·lació i ús
- informe sobre les proves de foc

Materials no combustibles

Segons normatives UNE, ISO o bé de Societats de Classificació, entre d'altres entitats, s'estableix que alguns elements han de ser no combustibles. El Codi FTP indica que es considera un material no combustible aquell que compleix amb els requisits següents:

- l'augment de temperatura mitjà del termopar del forn no excedeix els 30 °C
- l'augment mitjà de la temperatura del termoparell de superfície de l'espècimen no excedeix els 30 °C
- la durada mitjana de flames sostingudes no excedeix els 10 s
- la pèrdua de massa mitjana no excedeix el 50%

Aquets criteris d'acceptació de no combustibilitat són vàlids fins i tot si consisteix en una barreja de substàncies orgàniques i inorgàniques.

Divisions de Classe "A", "B", "F"

Hi ha diferents elements (com cobertes, mampares, portes, sostres, revestiments, finestres, amortidors de foc i passadors de cable) els quals necessiten uns requeriments específics. Per això es presenta les divisions de classe. Els productes s'hauran de provar i avaluar d'acord amb els procediments de prova d'incendi. Els criteris de rendiment un cop es realitza la prova són:

- Divisió de classe "A":

Classe "A-60"	60 min
Classe "A-30"	30 min
Classe "A-15"	15 min
Classe "A-0"	0 min
- Divisió de classe "B" i "F":

Classe "B-15"	15 min
Classe "B-0"	0 min
Classe "F-15"	15 min
Classe "F-0"	0 min

Segons l'embarcació, l'element d'estudi i la ubicació d'aquest, es determina la divisió de classe que ha de complir.

2.4. Relació de normatives del sector naval i fabricació additiva

Per determinar un material, s'ha vist que es requereix no només saber en quina peça es conformarà i quina utilitat rebrà, sinó que també cal conèixer les normatives a les quals es troba sotmesa: normes pròpies de l'estat, societats de classificació,... Per aquest motiu no es pot generalitzar quins són els materials propis del sector naval.

De la mateixa forma, en aquesta fase del treball, no es pot determinar quins materials són aptes per a ser impresos en la indústria naval. Del primer capítol del present treball, s'han de terminat un llistat de materials que poden ser impresos, i en aquest apartat, s'ha observat que al sector naval es requereixen un seguit de requisits, però que depenen de diversos paràmetres. Així doncs, no s'ha pogut confrontar el llistat de materials admissibles en fabricació additiva i els aptes al sector naval, i per tant, arribar a tenir un llistat concret de materials aptes per embarcacions.

Si bé es pot fer una primera aproximació atenent que es requereixen materials ignífugs, resistents a la corrosió, resistents a l'aigua salada i a la radiació UV, amb una certa resistència (límit elàstic),... Aquesta aproximació es pot fer a través d'un programa anomenat CES EduPack. Amb aquest programa s'han introduït uns requisits molt genèrics i aproximats, ja que no es tenen valors concrets, a fi de poder observar una eina que ajuda a la selecció de materials.

Els requisits que s'han establert són els següents:

- Límit elàstic: 40-275 MPa⁴
- Inflamabilitat: No inflamable (Supera totes les qualificacions UL94), Autoextinguible (V-2, V-1, V-0, 5VA i 5VB)
- Durabilitat: Excel·lent resistència a l'aigua salada
- Durabilitat: Bona/Excel·lent resistència a raigs UV

Amb aquests requisits s'ha obtingut el següent gràfic de materials aptes, veure Figura 2.2 i Figura 2.3.

⁴ Aquests valors s'han pres a partir de criteris de selecció que es mostraran en el capítol 3.

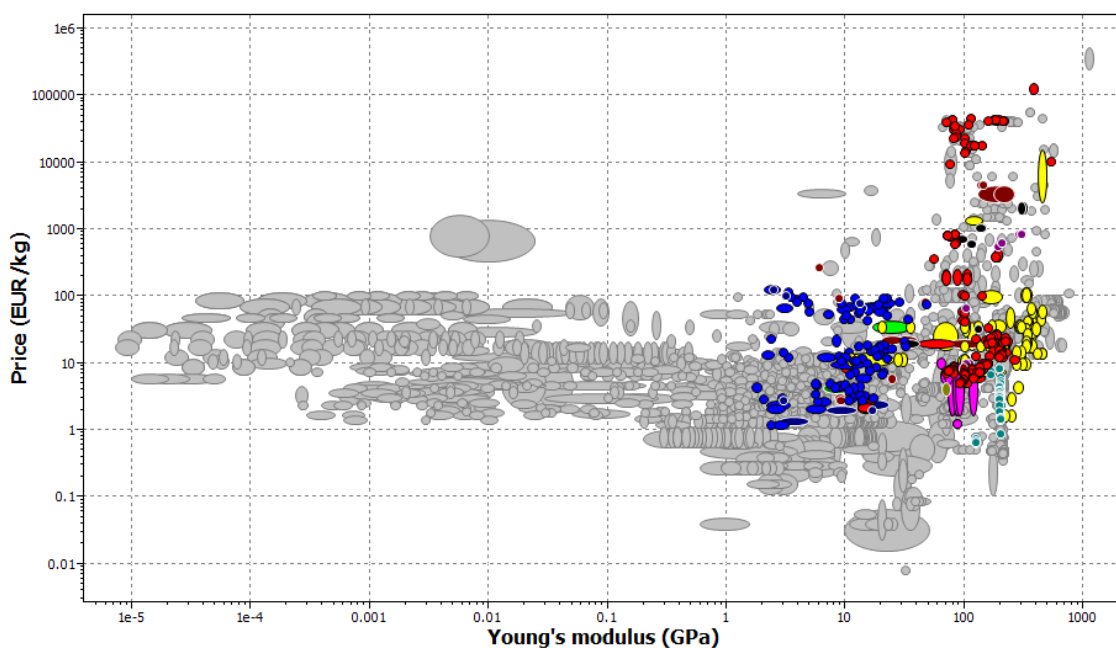


Figura 2.2: Selecció de materials mitjançant CES EduPack. Font pròpia

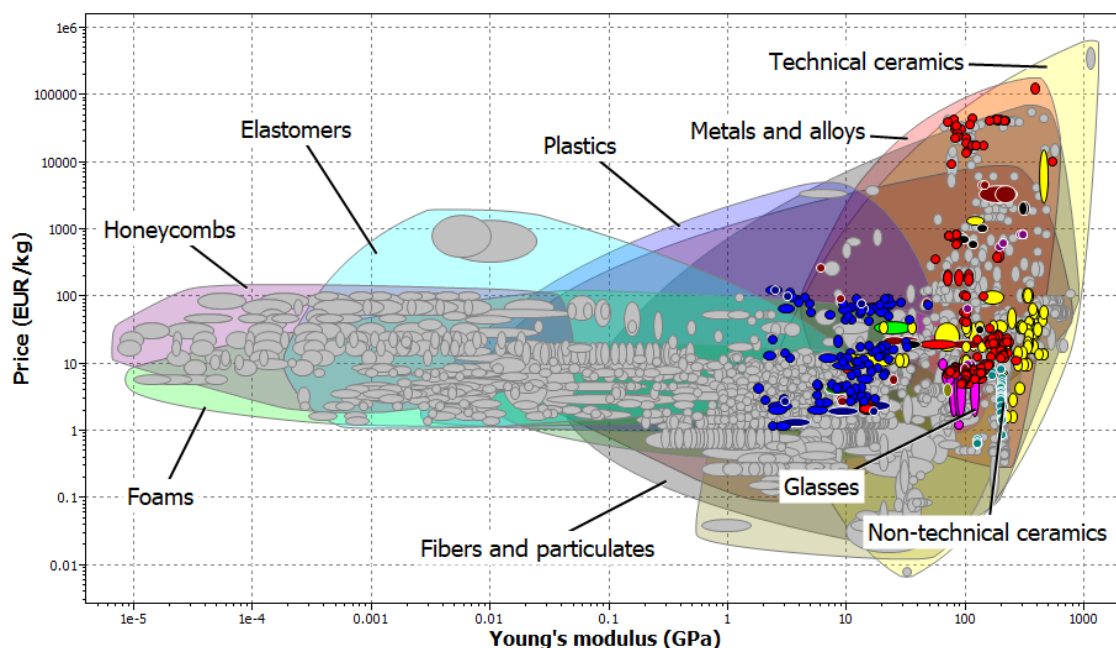


Figura 2.3: Famílies de materials mitjançant CES EduPack. Font pròpia

Es pot observar que la majoria de famílies de materials que compleixen els requisits són plàstics, aliatges i metalls i ceràmics⁵.

⁵ Per a més informació es pot consultar el llistat de materials a l'Annex 2.

2.5. Consideracions finals

Com s'ha vist al llarg del capítol, s'ha intentat fer un llistat de materials per a la fabricació additiva en la indústria naval. No obstant això, no s'ha pogut realitzar. Aquest fet es deu a que hi ha molts condicionants que dificulten la realització d'aquest llistat general. Depèn de la ubicació de la peça, de la funció, de la forma, dels requisits de la normes de l'estat, de normes aplicables a tots els vaixells, de societats de classificació... Així, no es poden concretar les propietats que han de caracteritzar els materials per a la construcció naval.

Com s'ha especificat en aquest capítol, la ISO 12215 determina que un material emprat en construcció naval ha de complir amb una norma internacional, de societat de classificació o estar recolzat per documentació per a validar la seva adequació per a ús marítim. Amb això es veu l'àmplia gamma de possibilitat d'eleccions de materials.

Així doncs, l'estudi de normativa serà més precís en el capítol 3, on es focalitzarà en peces concretes de l'embarcació.



CAPÍTOL 3: LA INDÚSTRIA NAVAL A LA DRASSANA “ASTILLEROS NICOLAU”

3. LA INDÚSTRIA NAVAL A LA DRASSANA "ASTILLEROS NICOLAU"

3.1. Introducció

Com s'ha anat contemplant al llarg del capítol anterior, l'aplicació de la fabricació additiva en l'àmbit naval no es troba del tot determinada per les normatives, tant pel que fa a la norma UNE com en les societats de Classificació.

Aquest aspecte dificulta, en certa mesura, la posada en pràctica d'aquesta tecnologia en la indústria naval. Com no es troba estrictament reglat aquest àmbit d'aplicació, s'accentua la dificultat en la realització de diferents proves experimentals (assajos destructius i assajos no destructius) i models matemàtics per a estudiar el comportament de la peça. Així doncs, es tracta d'un àmbit nou obert a l'espera d'enginy i dedicació.

En el present apartat es desitja mostrar una primera aproximació sobre com es pot implementar aquest avenç a les drassanes Astilleros Nicolau, les quals es troben situades a Sant Carles de la Ràpita. En primer lloc, en aquest capítol es mostra breument una contextualització d'aquesta empresa i posteriorment es focalitza el projecte d'estudi, una embarcació de pesca.

3.2. Contextualització dels Astilleros Nicolau

Les drassanes Astilleros Nicolau és una empresa dedicada a la construcció d'embarcacions de pesca professional, aqüicultura i embarcacions d'oci fa més de 100 anys. Des de l'any 1917 i al llarg de quatre generacions, s'ha dedicat a ser una empresa pionera amb perspectives de futur.



*Figura 3.1: Ubicació de les drassanes a Sant Carles de la Ràpita.
Font: Google Maps*

Actualment, degut a un devastador incendi que va acabar amb les antigues instal·lacions, les drassanes es troben situades al port de Sant Carles de la Ràpita, ubicació que es mostra a la Figura 3.1. Tot i disposar d'unes instal·lacions amb menor àrea que en les anteriors drassanes, ara es troben més a prop del mar, aspecte que acostia a les necessitats més diàries de les embarcacions del port.



Figura 3.2: Instal·lacions de la drassana. Font pròpia.

A principis dels anys 80 va ser Miquel Nicolau Altés qui va iniciar la construcció d'embarcacions de polièster reforçades amb fibra de vidre. Concretament ho va instaurar en embarcacions de pesca, un material i tècnica desconeguda per al sector de la pesca. Tot i tenir uns inicis difícils al mercat en l'aspecte de la innovació, la qualitat de les embarcacions van mostrar la millora del rendiment d'aquestes.

Actualment, aquesta tècnica ha estat perfeccionada i els anys d'experiència ho avalen. Miquel Nicolau Salido va introduir la tecnologia de laminats al buit per infusió, la qual incideix en una reducció del pes del vaixell, de consum i de combustible en navegació, oferta d'un laminat uniforme i la preservació del medi ambient i marí, reduint les emissions d'estirè [86] i evitant la creació de buits en la laminació del casc que provoca el desgast i la corrosió. Busca la introducció de noves tecnologies a fi de millorar l'eficiència del procés de construcció i de l'embarcació.

La seva ubicació en les terres de l'Ebre, una zona on està activa l'activitat pesquera, afavoreix principalment la demanda de diferents embarcacions i/o plataformes d'aqüicultura. Tot i això, la producció anual de les drassanes resulta molt variable. Aquesta depèn de l'any, de la cartera

de comandes i de la tipologia de les mateixes [87]. De tal forma que és difícil d'estimar la quantitat de projectes i la dimensió d'aquests anualment.

A mode d'exemplificació, en un mateix any natural, es poden fer entre 2 i 3 embarcacions de 15 metres d'eslora de pesca professional d'arrossegament, o 14 embarcacions-plataformes d'aqüicultura, o 5-6 embarcacions de pesca professional d'arts menors de 9-12 metres d'eslora. S'ha de tenir en compte que cada embarcació és totalment fabricada a la unitat i amb un Projecte tècnic individualitzat per a cada necessitat. A més a més dels projectes comentats, al llarg d'un any natural es realitzen reparacions, manteniment i/o modificacions de diferents embarcacions. En la Figura 3.3 es mostren els exemples mencionats.

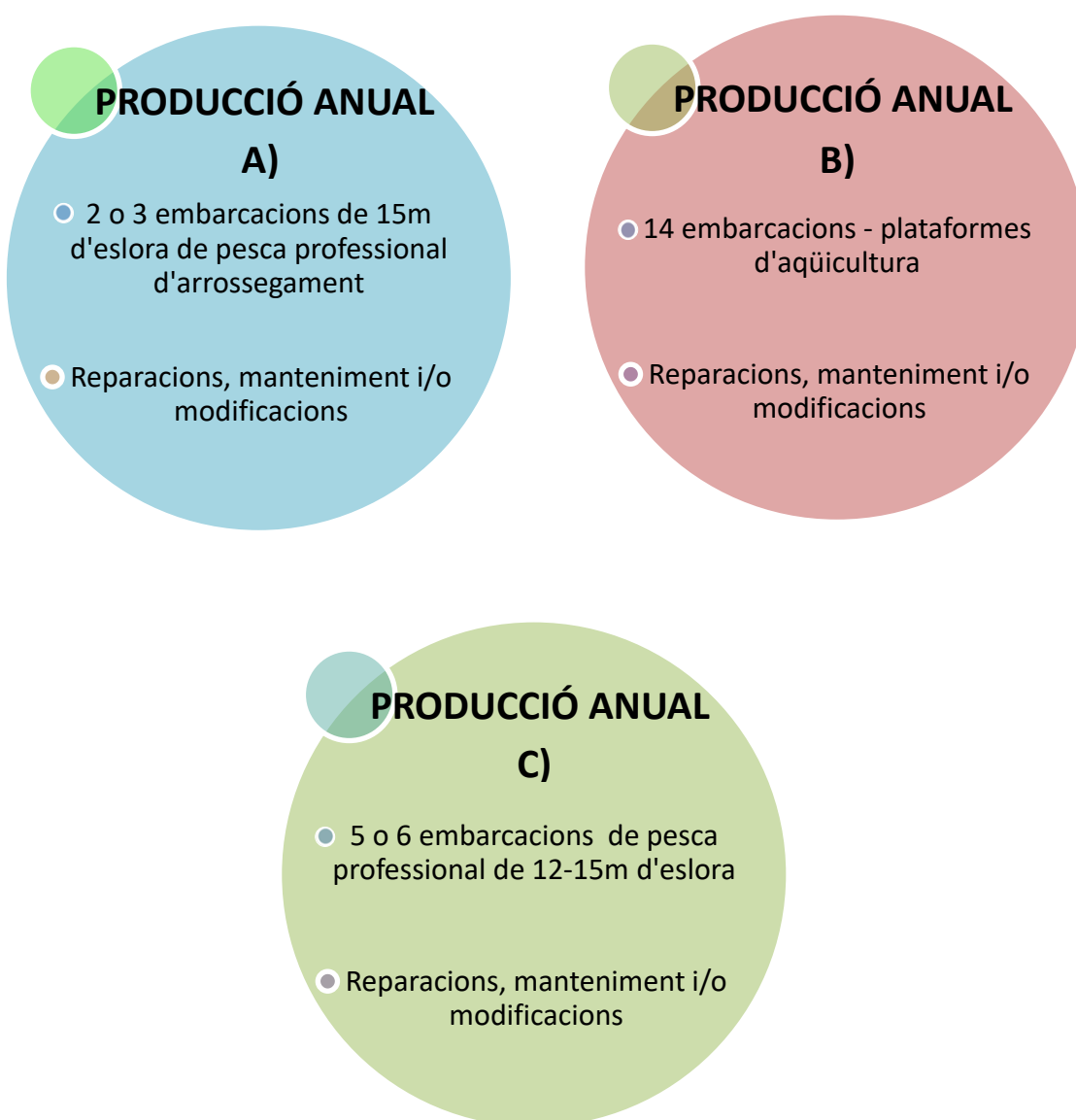


Figura 3.3: Mostra de tres exemples (A,B,C) de la producció anual a les Drassanes Nicolau. Font: [87]

Amb l'esperit de creixement de les drassanes Nicolau, hi té cabuda aquest treball final de grau. L'aplicació de la fabricació additiva en la indústria naval s'ha fet present en els darrers anys i Astilleros Nicolau contempla la opció d'oferir embarcacions amb peces construïdes amb aquesta tecnologia. Concretament s'estudia la implementació de la impressora *Discovery 3D Printer*, la qual es pot observar a l'Annex 10.

3.3. Projecte d'estudi

El projecte que s'estudia en aquest treball és una embarcació dedicada a la pesca. L'any 1991 Astilleros Nicolau va construir una embarcació de pesca amb fibra de vidre i actualment pretén realitzar-ne una de nova, aprofitant alguns elements de l'anterior.

Astilleros Nicolau busca oferir una millor rendiment de la nova embarcació apostant per noves formes de l'embarcació i tecnologies avantguardistes. A continuació es presenta l'embarcació de 1991, explicant-ne breument les característiques principals. Seguidament es mostra l'embarcació en construcció, donant peu als nous trets que la caracteritzaran. Per últim, i com eix principal d'aquest capítol, es busca oferir una projecció de futur en la implementació de la fabricació additiva en la construcció de l'embarcació estudiada.

3.3.1. Aprenent del passat

L'embarcació d'estudi es va construir el 1991 a les antigues drassanes Astilleros Nicolau amb un casc de polièster reforçat amb fibra de vidre, en lloc del casc tradicional de fusta, veure Figura 3.4. Les principals raons per aquesta tecnologia es deu al menor cost de manteniment de les embarcacions (han de varar menys cops a l'any i les varades són més curtes), el seu acabat és millor, la neteja i higiene, la major seguretat (s'aconsegueix una excel·lent estanqueïtat a les mampares, evitant una possible via d'aigua), la versatilitat de la fibra per a construir *toldilles* o sobre cobertes, la reducció del pes de l'embarcació, millora de la estabilitat i reducció de consum de combustible entre d'altres avantatges.



Figura 3.4: Recull fotogràfic de l'embarcació TA-1-1350.

Figura superior esquerra: font Cens de la flota pesquera. Altres fotografies: font pròpia

Es tracta d'una embarcació que no requereix gran autonomia. Per tant, la seva capacitat de combustible no ha de ser molt gran, inferior a 25.000 litres de Gas-Oil. Aquest vaixell no requereix d'instal·lacions elèctriques de cambres frigorífiques degut que la seva estança a la mar es relativament curta. Per això mateix, la pesca es caracteritza per ser massiva i per tant, no es disposen de bodegues molt grans. Les dimensions i les especificacions generals característiques de l'embarcació TA-1-1350 es mostren a la Taula 3.1:

DADES DE L'EMBARCACIÓ	
Codi del Vaixell	22120
Matrícula	TA-1-1350
Nom del vaixell	Eusebio Luis
Data d'entrada a servei	21/01/1991
Esllora PP (L_{pp})	13,02 m
Arqueig brut GT	23,15 GT
Potència	36,76 kW
Material del casc	Polièster

Taula 3.1: Dades característiques de TA-1-1350. Font [87]

A fi de poder observar com serà la construcció final de la nova embarcació, s'ha fet una primera aproximació observant els principals sistemes, equips, serveis i espais de l'embarcació construïda el 1991.

- Sistema de refrigeració
- Sistema de contra incendis
- Sistema de combustible
- Sistema hidràulic
- Sistema d'aigües brutes
- Sistema elèctric
- Sistema d'aire comprimit
- Equip de fondeig i amarratge
- Equips per a la navegació, radio i comunicacions
- Llums i marques de navegació
- Servei de salvament
- Servei de pesca

Els principals espais d'aquesta embarcació són:

- Habilitació proa
- Càmera de màquines
- Pallol pic de popa
- Cuina / Menjador
- Bodegues de càrrega
- Pont / Govern
- Lavabo

Un cop estudiats els diferents espais, serveis, sistemes i equips existents en aquesta embarcació, es procedeix a realitzar un traspàs de les peces observades que també es trobaran en la embarcació en construcció.

3.3.2. Construint el present

Actualment, les drassanes Astilleros Nicolau, després de tornar a reprendre el negoci el 7 de febrer d'enguany, està construint a les noves drassanes una embarcació per a substituir el vaixell comentat en l'apartat anterior. Degut al temps limitat, no es podrà observar tot el procés constructiu però sí un petit seguiment d'aquest.

La experiència amb el material de la fibra de vidre i els nous coneixements de formes en vaixells, han ofert a Astilleros Nicolau la possibilitat d'introduir innovacions en les formes del casc i en la concepció de l'embarcació en general.

Així doncs, com a millora en aquesta embarcació, es fa un vaixell més *aquillat* que permet assolir major velocitat amb la mateixa potència. Es tanquen les zones de treball a coberta amb *toldilles* o sobre cobertes, que milloren les condicions de treball, seguretat i confort de la tripulació.

En la Figura 3.5 es pot veure l'estructura de l'embarcació en construcció a la drassana. Un cop la drassana disposa de la fitxa tècnica, plànols corresponents a l'embarcació i l'aprovació de capitania, es procedeix a la construcció d'aquest. En la figura es mostra la fase en la qual s'està formant el motlle de l'estructura del casc del vaixell, amb la configuració de la quilla.



Figura 3.5: Estructura del casc de l'embarcació en construcció, quilla, roda i "huelgo" del timó i la hèlix. Font pròpia

Les traques es van ajustant a la forma de l'embarcació i es van col·locant de forma simètrica a babord i estribord. S'observa també com de popa a proa es van col·locant taulers, ajustant-se a les formes del vaixell.

Un cop finalitzada aquesta fase, s'ha pogut observar també el procés de pintat amb gel coat amb base de polièster i l'aplicació de fines capes de resina epoxi des de la quilla fins sobre la línia de flotació, veure Figura 3.6. En la figura hi ha aplicada una capa de tres que n'hi hauran. Finalment, en una etapa posterior, es procedeix al laminat al buit per infusió.



*Figura 3.6: Procés de pintat i aplicació de resina.
Font: facilitat per les drassanes Nicolau i propi*

Posteriorment, com s'ha comentat es procedeix a col·locar en sec totes les capes de fibra que formen la seqüència de laminat del casc. Es dissenya la distribució de línies de buit i línies d'entrada de resina. És a dir, es defineixen de forma estratègica, els punts d'alimentació de resina i les línies de buit que s'uniran al contenidor de resina i a la bomba de buit, respectivament, mitjançant l'ús de connectors i de mànegues.

Des de la quilla fins la tapa regala es disposen dues línies de resina i una altra suplementària a la proa, ja que al ser la zona més allunyada de la quilla, la resina té més dificultats per arribar-hi. Es tanca el casc mitjançant una bossa de plàstic i es genera el buit. Un cop es comprova que s'hagi realitzat satisfactòriament, s'obren les entrades de resina fins que la fibra quedi completament impregnada. La resina, amb una viscositat adequada, avança per acció d'una diferència de pressió aconseguida fent el buit.

En estar al buit, es tracta d'un procés net en el qual no hi ha emissions d'estirè, es milloren les condicions ambientals, augmenta la qualitat del lloc de treball i s'optimitza el material emprat.

Endurida ja la resina, es treuen els materials per disposar el casc laminat, el qual presenta una important reducció del pes total. Aquest factor, incideix directament amb un augment de la velocitat de navegació, una disminució del consum de combustible i, per tant un augment de l'autonomia. A més a més, aquest laminat més compacte i uniforme, augmenta la resistència de l'embarcació i prevé l'aparició de la osmosis, ja que no hi ha buits d'aire.

Aquesta embarcació en construcció usarà alguns elements de l'anterior. En la Figura 3.7 i en la Figura 3.8 es mostra el motor i bites com exemple dels elements que es reaprofitaran.



Figura 3.7: Motor Caterpillar embarcació TA-1-1350.

Font pròpia

- Motor propulsor Caterpillar i reductora
- Maquinilla hidràulica (equip hidràulic de la maquinilla i la timoneria)
- Aparells electrònics (VHF, Sonda, GPS, Plotter, AIS...)
- Bites d'amarratge
- Eix de cua (tot i que es possible que calgui afegir un intermediari)
- Hèlix



Figura 3.8: Bites embarcació TA-1-1350. Font pròpia

Les dades característiques de la nova embarcació són les que es mostren a la Taula 3.2:

DADES DE L'EMBARCACIÓ	
Eslora total (L_t)	14,99 m
Eslora L (un 80% de L_t)	11,99 m
Eslora entre perpendiculars (L_{pp})(82%D)	13,08 m
Manga (B)	4,27 m
Puntal (D)	1,46 m
Arqueig brut GT	16,30 GT
Potència	36,76 kW (50 CV)
Capacitat de combustible	5,00 m ³
Tonatge de registre brut	23,35 TRB
Material del casc	Polièster

Taula 3.2: Dades característiques de la nova embarcació. Font: dades facilitades per Drassanes Nicolau

Amb el mateix procés seguit en l'apartat anterior, es mostren els principals sistemes, equips, serveis i espais que caracteritzaran la nova embarcació.

- Sistema de refrigeració
- Sistema de contra incendis
- Sistema de combustible
- Sistema hidràulic
- Sistema d'aigua potable
- Sistema d'aigües brutes
- Sistema elèctric
- Sistema d'aire comprimit
- Equip de fondeig i amarratge
- Equips per a la navegació, radio i comunicacions
- Llums i marques de navegació
- Servei de salvament
- Servei de pesca

Els principals espais d'aquesta embarcació són:

- Habilitació proa
- Càmera de màquines
- Pallol pic de popa
- Cuina / Menjador
- Bodegues de càrrega
- Pont / Govern
- Lavabo

A diferència del vaixell TA-1-1350, aquest nou vaixell disposa del sistema d'aigua dolça, i més capacitat de càrrega.

3.3.3. Projectió de futur

Astilleros Nicolau aposta per una projectió de futur en la embarcació que es troba en construcció, acostant la impressió 3D a la indústria naval. Per això, un cop es coneixen els espais, equips, sistemes i serveis, es pot fer un llistat de les diferents peces que caracteritzen la nova embarcació i veure quines d'aquestes són peces que podrien ser impreses amb tecnologia de fabricació additiva.

Per a fer-ho s'estudia cada un dels sistemes que caracteritzen la el vaixell i se'n llisten els elements propis. De cada element, es valoren dos criteris per tal de decidir si la peça és apta per a ser impresa.

- **Possibilitat pràctica d'impressió:** es tracta d'una peça mecànicament senzilla. És a dir, l'element final no està format per un nombre elevat de peces i aquestes no es troben unides mitjançant diversos mecanismes.
- **Peça no-estructural:** es tracta d'un element que no és estructural. Els elements estructurals poden tenir estats de tracció, compressió, flexió, torsió... forces uniformes o que varien en una mateixa secció.

Per tal de poder classificar l'element com APTE, aquest ha de ser favorable en els dos aspectes enumerats anteriorment. Si bé és cert, determinar si una peça és apte o idònia per a ser impresa, caldria estudiar molts aspectes, però aleshores aquest treball seria sobredimensionat. No obstant, es profunditzarà un estudi més detallat posteriorment. Amb aquests elements seleccionats com a mostra de tots els que poden ser impresos, es pretén fer una aproximació als beneficis que aquesta tecnologia pot aportar a la indústria naval.

3.3.3.1. Estudi de la viabilitat d'impressió 3D de les peces de la nova embarcació

Anteriorment s'han mencionat els diferents sistemes, espais i equips propis de l'embarcació d'estudi. Amb aquest criteri de classificació i amb la informació extreta en la visita a la drassana, s'ha realitzat un llistat d'elements propis dels diferents sistemes de la embarcació TA-1-1350, atenent a la previsió dels nous sistemes que caracteritzaran la nova embarcació.

Hi ha diversos elements que, tot i que podrien ser impresos amb tecnologia de fabricació additiva, no s'ha indicat com element de possible impressió pràctica, ja que seria més propi

que les empreses distribuïdores d'aquests elements més concrets, apliquin aquesta tecnologia. Alguns d'aquests elements poden ser bombes, filtres o instruments de mesura. A l'Annex 3 es mostra un seguit de taules amb l'estudi realitzat per determinar si els elements són aptes per a ser impresos o no. Els elements aptes es mostren tot seguit en l'apartat 3.3.3.2.

3.3.3.2. Llistat dels elements amb possibilitat de fabricació additiva

Un cop s'ha realitzat una primera selecció a partir de dos criteris, la possibilitat pràctica d'impressió i que es tracti d'una peça no estructural, s'ha obtingut un llistat de 75 elements que poden ser fabricats en fabricació additiva.

Cada element té una funció en l'embarcació, i és per això que no es pot generalitzar el procés de fabricació de cada un d'ells. Fins i tot, en les mateixes canonades, s'ha de valorar el material per a confeccionar-les en funció del fluid que transporten. Així doncs, s'haurien d'estudiar els casos de forma particular, observant la seva funció, ubicació al vaixell, material indicat, normatives pròpies (de la peça en funció de l'embarcació), tensions... i a partir d'aquí es determinaria la tecnologia d'impressió i es podria fer un estudi dels beneficis que comportaria la implementació de la fabricació additiva.

En funció del sistema o equip, s'han classificat les peces, donant lloc al següent llistat d'elements que es mostren a la Taula 3.3.

Valoració final	Sistema de refrigeració
APTE	Reixeta de la presa de mar
APTE	Reixeta de la presa de mar de costat
APTE	Col·lector de refrigeració
APTE	Refredadors/ intercanviadors de calor (tubular)
APTE	Keel cooler / Box cooler ⁶
APTE	Ventilació d'aire (reixetes)
APTE	Canonades
APTE	Passa casc i aixeta de fons

Valoració final	Sistema de achique i contra incendis
APTE	Sistemes fixes d'extinció d'incendis (ruixadors)
APTE	Panells/taulell amb indicadors de les portes contra incendis
APTE	Sistema de comunicació d'incendis (micròfons de sistema megafonia, telèfons...)

Valoració final	Sistema de combustible
APTE	Brida (unions canonades)
APTE	Colzes de canonades
APTE	Acoblaments
APTE	Tes (per a la ramificació d'una canonada)
APTE	Racor (unió de tub a altres accessoris o equips, amb rosca)
APTE	Reduccions (en les canonades)
APTE	Canonades
APTE	Penetracions (travessar mampares)
APTE	Tanc magatzem
APTE	Tanc de servei diari (8h)
APTE	Tanc de llots (lodos)
APTE	Tanc de sobreiximents

Valoració final	Sistema hidràulic
APTE	Intercanviador de calor
APTE	Canonades
APTE	Vàlvules anti-retorn

⁶ El *keelcooler* és un element que no disposen totes les embarcacions. És un refredador de quilla on el circuit primari d'aigua dolça es situa en contacte directe amb l'aigua de mar del casc, de manera que la convecció forçada la produeix la velocitat amb la qual el vaixell avança pel medi. El *boxcooler* és una variant del *keelcooler* en la qual el refredador es troba en les caixes de mar.

Valoració final	Sistema d'aigua potable i aigües brutes
APTE	Col·lector
APTE	Colzes canonades
APTE	Embortal (descàrrega per la borda / imortal)
APTE	Tapa de registre dels dipòsits / boca de omplert
APTE	Connexió externa omplert de tanc AD
APTE	Racor
APTE	Canonades
APTE	Vàlvula anti-retorn
APTE	Clau per a boca de omplert
APTE	Brides i "abrazaderas"
APTE	Ventilació de dipòsits
APTE	Aixeta
APTE	Dutxa
APTE	Tanques / dipòsit d'aigua
APTE	Tanc d'aigües brutes

Valoració final	Sistema elèctric
APTE	Quadre principal de distribució i protecció
APTE	Quadre generador d'emergència
APTE	Armaris elèctrics
APTE	Panell dels equips de comunicacions
APTE	Interruptors de circuit
APTE	Interruptors del panell elèctric
APTE	Passa cables
APTE	Llums per a la navegació
APTE	Il·luminació interior
APTE	Il·luminació exterior
APTE	Il·luminació d'emergència

Valoració final	Equip de fondeig i amarratge
APTE	Barboten
APTE	Escoben
APTE	Caixa de cadenes
APTE	Bit, gatera, cornamusa, piló (bolardo per amarrar)
APTE	Amortidor d'amarratge
APTE	Escut protector de proa (en recollir l'àncora)
APTE	Tragacadenes
APTE	Guarda caps

Valoració final	Sistema d'aire comprimit
APTE	Brida (unions canonades)
APTE	Acoblaments
APTE	Penetracions (travessar mampares)

Valoració final	Altres elements
APTE	Portes
APTE	Escales metàl·liques de <i>pañol</i> de popa
APTE	"Escotilla" entrada <i>pañol</i> de popa
APTE	Portillos (la part exterior, el marc de la finestra)
APTE	Lumbreras de càmera de màquines (la estructura amb l'espai)
APTE	Taula del menjador
APTE	Farmaciola
APTE	Portillo (la part de lumbreras o tragallum)
APTE	Placa del constructor
APTE	Passa mans
APTE	Baranes interiors coberta

Valoració final	Equips per a la navegació
APTE	Panell de comandament

75	Elements (sense comptar que hi ha elements repetits en sistemes)
----	--

62	Elements (comptant que hi ha elements repetits en sistemes)
----	---

Taula 3.3: Llistat d'elements seleccionats per a ser impresos amb fabricació additiva. Font pròpia

En total, de tots els elements llistats a l'Annex 3, un **40% són susceptibles a ser impresos**. No obstant això, s'ha de tenir en compte que s'hauria d'estudiar amb major profunditat quina tecnologia s'empraria i la normativa aplicada a cada element. En el llistat total d'elements, no s'han tingut en compte grans elements (com el casc), peces estructurals (com mampares) o grans elements compostos (com motor o reductora). Tot i això, aquesta dada és rellevant, ja que mostra un alt percentatge d'elements que poden contribuir a reduir considerablement el pes de l'embarcació.

3.3.3.3. Selecció de les peces de principal interès

Com s'ha comentat, seria propi estudiar cada un dels elements de la llista anterior amb major profunditat, fent una comparativa dels beneficis d'implementar aquesta tecnologia. Principalment, es podria observar el percentatge de la disminució de pes, incidint directament en una disminució del consum de combustible, en l'augment de l'autonomia i de la capacitat de càrrega. Tot i això, com es desbordaria aquest treball, s'ha decidit fer un estudi més detallat de 5 de les 62 peces seleccionades.

- Reixeta de la presa de mar (veure Figura 3.9 [89])
- Passa casc (veure Figura 3.9 i Figura 3.10 [90])
- Aixeta de fons de la pressa de mar (veure Figura 3.10)
- Consola o panell de comandament (veure Figura 3.11 [91])
- Aleró de pont (veure Figura 3.12 [92])



Figura 3.9: Reixeta de la presa de mar i passa casc. Font: [88]



Figura 3.10: Passa casc i aixeta de fons de la presa de mar. Font: [89]



Figura 3.11: Panell de comandament. Font: [90]



Figura 3.12: Arc (Aleró) de Pont. Font: [91]

L'elecció d'aquests elements s'ha fet en base a diferents criteris i per a disposar d'elements característics a diferents funcions.

- **Reixeta de la presa de mar:** amb aquest, s'ha buscat un element que estigués sota la línia de flotació i en contacte directe amb el medi marí, a fi d'estudiar normatives i materials propis d'aquest àmbit.
- **Passa casc i aixeta de fons:** s'han seleccionat aquests elements degut que, atenent el seu cost elevat al mercat, es pot oferir de forma conjunta amb la reixeta de la presa de mar i adaptant-se a les necessitats de l'embarcació.
- **Consola o panell de comandament:** s'ha seleccionat aquest element perquè ofereix a l'armador la possibilitat de mostrar un disseny propi i característic, amb la capacitat d'emmotllar-se a l'espai del vaixell i a tots els elements propis del panell, al mateix temps que resulta visiblement atractiu al comprador. A més, en cas de necessitat imminent, es pot realitzar en un temps relativament curt, sense haver d'esperar la creació d'un motlle.
- **Aleró de pont:** l'interès en aquest element, principalment és que es troba en la zona de la obra morta del vaixell. La reducció de qualsevol pes de la obra morta implica una millora de l'estabilitat del vaixell. Si els pesos es troben molt elevats, el període de oscil·lació del vaixell serà més llarg. Estivant els pesos a crugia, augmenta el balanç realitzant moviments de babord a estribord. Per tant, les càrregues pesades no s'han d'acumular al centre, sinó que s'han de repartir de la forma més equitativa possible. Per això, és important la reducció del pes en el punt més alt del vaixell.

D'aquests quatre elements, s'estudiarà un seguit de dades per tal de decidir la seva viabilitat. Primerament s'estudien dades generals com la ubicació en l'embarcació, la normativa vigent, el cost de compra (s'indica la referència), el pes de la peça comprada, el material de la peça comprada. En segon lloc, i amb la fonamentació anterior, s'estudia el material necessari per a la construcció de la peça, el mètode d'impressió idoni per a la peça, el volum que ocupa (a fi de poder realitzar la comparativa de pes), el rendiment i els diferents costos com el cost de manteniment, entre d'altres aspectes.

De cada element es mostra una petita descripció i ubicació en l'embarcació, la regulació aplicable, paràmetres i factors de la reixeta de la presa de mar en l'actualitat, i finalment la impressió de l'element en fabricació additiva.

En aquest capítol es centra l'aplicació de les peces d'estudi amb impressió d'extrusió de material (FDM). Si bé les peces poden imprimir-se amb altres tecnologies, es centrarà en l'estudi de la tecnologia FDM, buscant el material idoni que compleixi amb els requisits de la norma.

Reixeta presa de mar

a) Descripció

El sistema de refrigeració s'inicia en unes succions marines que actuen com a entrada d'aigua de mar per a refrigerar els sistemes necessaris mitjançant canonades, vàlvules i bombes de manera controlada. La línia de mar té un filtre de succió de mar, per evitar la succió de peixos, plàncton i d'altres elements marins. Aquests organismes, quan entren al sistema d'aigua de refrigeració, causen fluctuacions en el rendiment del sistema [93].

Així doncs, el problema de les bioincrustacions en les preses de mar i les canonades d'aigua salada és un tema d'interès en la indústria naval. El creixement marí en el sistema de refrigeració del vaixell dificulta que aquest sistema pugui realitzar la seva funció en la seva totalitat, fins al punt de bloquejar l'entrada d'aigua marina. Aquest aspecte, influeix en la refrigeració del motor i a altres sistemes crítics, augmentant el consum de combustible. L'eliminació de les peces degudes a la corrosió excessiva del creixement marí pot ser molt costosa [94].

b) Regulació aplicable

Es classifica el vaixell d'estudi com un vaixell de petita eslora (RU-SHIP a DNV-GL) i s'estudia la reixeta dins el marc de les normes UNE-EN ISO i una societat de classificació, en aquest cas DNV GL. Es treballarà amb les últimes edicions de ambdues normatives. La normativa UNE-EN ISO es troba disponible a la biblioteca de la UPC i la normativa de DNV GL es troba disponible en línia a [95].

Si bé **DNV GL** no defineix específicament quins materials poden ser emprats en un sistema o altre, sí que els classifica per classe d'acord a les seves condicions d'operació. Aquestes classes, marquen alguns dels requisits específics i la certificació requerida. També estableix criteris de

dimensionament d'espessors, tenint en compte el material de les canonades, factors de corrosió o pressions de treball.

El més habitual és que els elements que componen la presa de mar, puguin ser desobstruïts amb facilitat i que siguin materials duradors. **DNV GL – RU en PT4-CH6**, indica que els materials utilitzats per sota de S.W.L i en el sistema de refrigeració d'aigua de mar han de ser d'un tipus adequat en serveis d'aigua de mar tenint en compte la possible corrosió localitzada [96].

- **PT4-CH6-S2 Apartat 1.1:** els materials emprats en els sistemes de canonades han de ser idonis per al mitjà i el servei del sistema. Els acers inoxidable 316 i 316L no s'han de considerar adequats per al seu ús en el sistema d'aigua de mar. No obstant això, acers inoxidable amb un contingut més alt de crom, molibdè i nitrogen han millorat la resistència a la corrosió localitzada. Aquests inclouen acers austenítics d'alt molibdè i acers ferrític-austenítics (dúplex). Fins i tot aquests acers no es poden considerar immunes a l'atac en totes les situacions.

Els materials metàl·lics no fèrrics amb punts de fusió superiors a 925°C poden ser acceptats en sistemes de canonades com a alternativa a l'acer, excepte quan es donen limitacions específiques en altres llocs de les regles [97].

Els materials metàl·lics no fèrrics amb un punt de fusió inferior a 925°C es poden utilitzar sota les mateixes restriccions que en les canonades de plàstic.

- **PT4-CH6-S5 Apartat 2.3:** s'indica que les obertures de la presa de mar han de tenir una àrea que sigui com a mínim el doble de l'àrea de flux total en les vàlvules d'entrada d'aigua de mar. També s'indica que els sistemes han de ser adequats per a les propietats corrosives de l'aigua marina [97].

La **UNE-EN ISO 9093:2019**, fa referència a petites embarcacions. Aixetes de fons i passa cossos. La **part 1** fa referència a materials metàl·lics [98]. En aquesta part cal destacar dos aspectes:

- **Resistència a la corrosió:** els materials emprats han de ser resistents a la corrosió o han de tenir protecció a la corrosió, considerant la diversitat de fluids que passen a través de la presa de mar de fons (Cr18Ni8 o de resistència a la corrosió superior). La combinació de diferents materials han de tenir en compte la possibilitat de l'acció galvànica. Els materials en contacte entre sí han de ser galvànicament compatibles i el dispositiu ha de funcionar tal i com estava previst.

Els elements de fixació, com per exemple els cargols, no han de reaccionar galvànica amb cap dels materials que uneixen, per a que no es vegin afectades la resistència mecànica

- **Característiques de disseny:** aquest element ha de ser dissenyat de manera que funcioni normalment en totes les condicions de servei normal i la vàlvula ha de permetre un control visual de les posicions "obert" i "tancat".

La **part 2**, fa referència a materials no metàl·lics i és en aquesta normativa en la qual es farà més incís [99].

- **Requisits dels materials:**
 - **Generalitats:** els materials emprats per accessoris han d'estar lliures de qualsevol defecte visible que afecti a la seva estanqueïtat, resistència o funcionament.
 - **Combinació de materials:** s'ha de elegir atenent la possibilitat de dilatació, no s'ha de dilatar.
 - **Resistència al deteriorament:** els materials emprats han de ser resistents al deteriorament o han de protegir-se.
 - **Protecció contra el raigs UV i la oxidació:** els materials han de ser estables sota condicions de raigs UV. Tots els elements han de ser estables contra la oxidació.
 - **Propietats mecàniques:** els materials emprats per a la fabricació dels accessoris han de tenir, com a mínim, i en estat sec, les següents propietats:
 - Resistència a la tracció: 60 MPa (ISO 527)
 - Mòdul de elasticitat en la flexió: 2700 MPa (ISO 178)
 - Resistència a l'impacte: 9kJ/m² (ISO 180/A)
 - **Assajos de resistència sota la WL:** Les reixetes sota la línia de flotació han de satisfer el requisits d'assaig de resistència. Es fixa la peça i s'aplica una força de 1500N durant 10 cicles a 20mm d'un extrem en la direcció més vulnerable. També ha de superar sense cap fuga quan es sotmeti a una pressió interior d'aigua de 0,1MPa.
 - **Temperatures de funcionament:** han de poder suportar, en estat sec, una temperatura de -40°C fins a 60°C.

- **Instal·lació:**

- **Reforç del casc:** si el muntatge de la reixeta de fons redueix la resistència del casc, s'ha de reforçar la zona indicada per a compensar la pèrdua de resistència.
- **Requisits de instal·lació:** han de ser estancs a l'aigua i ben fixats per tal que no es soltin en condicions normals de funcionament.
- **Prevenió de la corrosió:** els elements que s'emprin per a la fixació, si són metàl·lics, han de ser resistent a la corrosió.

Amb això queden fixades les propietats de la reixeta de la presa de mar, feta amb materials plàstics.

c) Paràmetres i factors de la reixeta de la presa de mar en l'actualitat

Actualment es troba al mercat una gran varietat de reixetes de mar. Al tractar-se d'una embarcació petita, les reixetes de mar, també ho són, i per tant, tenen un primer filtre més fi. En aquest punt, es vol mostrar què hi ha al mercat a fi de comparar-ho amb la fabricació additiva.

Una possible reixeta de mar podria ser la que es mostra a la Figura 3.13 construïda amb llautó, Font [100]. També es poden trobar altres formes com la Figura 3.14, un element de Solé Diesel format per una presa d'aigua amb una reixeta filtrant i passa casc, vàlvula de bola i maneguet orientat cap a popa [101]. Els materials més emprats per a fer aquests elements són el llautó i l'acer inoxidable, degut a la salinitat del medi.



Figura 3.13: Reixeta de mar construïda amb llautó.
Font [99]



Figura 3.14: Reixeta filtrant i passa-casc. Font: [100]

- Dades de l'element comprat

Les dades de la peça que actualment es troba en l'embarcació es mostren a la Taula 3.4. en referència al pressupost de la peça, s'ha de valorar que no s'ha tingut en compte els costos de transport i maquinària, ja que es suposa que estaven inclosos en el preu marcat pel proveïdor.

Dades de la reixeta de la presa de mar	
Normativa vigent	UNE-EN ISO 9093-2:2019
	UNE-EN ISO 9093-1:2019
Ubicació en l'embarcació	Sota la línia de flotació
Material	Bronze
Densitat del material	8900 Kg/m ³
Cost de la peça	28,37 €
Pes de la peça	1,5 Kg
€/Kg	18,91 €/Kg
Referència de compra online	[102]

Taula 3.4: Dades de la reixeta de la presa de mar actuals. Font pròpia

d) Selecció de materials per a la reixeta de la presa de mar en fabricació additiva

S'ha estudiat la normativa objecte d'estudi i els productes que actualment es troben al mercat. Amb aquesta normativa requerida i els producte seleccionat s'estudia com implementar-ho amb fabricació additiva.

- Selecció de materials:

○ Materials metàl·lics:

Pel que fa als **materials metàl·lics**, s'ha observat que DNV GL recomanava no emprar acer INOX 316 si no és que aquest disposa d'un alt contingut en crom, molibdè o nitrogen. En relació amb això, s'indicava que s'havia de tenir precaució amb la corrosió, sense especificar propietats més concretes. Tot i això, DNV GL assenyala que el punt de fusió ha de ser superior a 925°C. Tret d'aquests tres aspectes, no s'ha vist cap altra restricció per a la elecció de materials metàl·lics.

Així doncs si es prioritza un material metàl·lic, s'hauria d'escollir la fusió de lilit de pols, la qual pot emprar acers inoxidable amb elevats continguts de crom, molibdè o nitrogen, o bé la deposició d'energia dirigida. Tot i això, la tecnologia de fusió de lilit de pols té un cost més elevat.

○ **Materials compostos i polímers:**

Tal com s'ha comentat anteriorment, aquest capítol es centra en la impressió amb tecnologia d'extrusió de material (FDM), que ofereix la impressió de materials compostos o polímers.

A l'Annex 4, s'ha realitzat un estudi dels materials llistats a l'apartat 1.4.6.3, materials comuns d'extrusió de material. S'han cercat dades referents a la composició, propietats generals, propietats mecàniques, propietats tèrmiques, propietats de processament, absorció i permeabilitat, inflamabilitat, durabilitat als fluids i a la llum solar, possibilitat de reciclatge.

Comparant aquesta base de dades amb les propietats requerides per la **UNE-EN ISO 9093:2019. Part 1**, han sortit APTES els següents materials⁷:

Material	Tecnologia	
ABS FP (<i>flame retarded, molding and extrusion</i>)	FDM	No apte
ABS	FDM	No apte
ABS HI (<i>high impact</i>)	FDM	No apte
CPE, CPE+	FDM	No apte
PLA	FDM	No apte
PC (baixa viscositat, emmotllament i extrusió, retard de flama)	FDM	No apte
Nylon - PA (<i>type 66, flame retarded</i>)	FDM	APTE
Nylon+fibra de carboni (<i>type 66, 30% de fibra de carboni</i>)	FDM	APTE
PETG	FDM	No apte
TPU	FDM	No apte
PEI (Ultem)	FDM	APTE
phenolic / E glass fiber	FDM	APTE

Taula 3.5: Materials aptes per la fabricació additiva de la reixeta de la presa de mar (Base de dades personal). Font pròpia

D'aquesta manera, s'observa que els materials que podrien ser emprats per a imprimir la reixeta de la presa de mar serien:

- Nylon
- Nylon+fibra de carboni
- PEI (Ultem)
- Fenòlic (amb fibra de vidre tipus E)

⁷ A l'Annex 4 es pot consultar amb detall cada criteri per tal de definir si el material és apte. De la mateixa manera, s'observa quins són els ítems que no s'adeqüen a les necessitats establertes per normativa.

A fi de comparar un segon punt de vista, s'ha procedit a indicar els mateixos requisits al filtre de selecció de materials de 3DHUBS [103]. No s'ha especificat la tecnologia, sinó les propietats dels materials. La tecnologia i materials que han sortit en aquesta selecció han estat:

Material	Tecnologia	
HSHT Fiberglass-Reinforced Nylon	FDM	APTE
Carbon-Reinforced Onyx	FDM	APTE
Kevlar-Reinforced Onyx	FDM	APTE
Kevlar-Reinforced Nylon	FDM	APTE
Fiberglass-Reinforced Onyx	FDM	APTE
Fiberglass-Reinforced Nylon	FDM	APTE
Carbon-Reinforced Nylon	FDM	APTE
CarbonMide (carbon-fibre filled polyamide 12)	FDM	APTE
Nylon - PA (type 66, flame retarded)	FDM	APTE
PEI - ULTEM 1010	FDM	APTE
PEI - ULTEM 9085	FDM	APTE

Taula 3.6: Materials aptes per la fabricació additiva de la reixeta de la presa de mar (3D HUBS). Font pròpia.

Entre la base de dades pròpia elaborada i la base de dades de 3D HUBS hi ha certa similitud amb els materials aptes per a la impressió de la reixeta de mar. Principalment, els materials que compleixen amb els requisits establerts per la normativa, són materials compostos, Nylon i PEI (Ultem). A la Taula 3.7 es pot veure el llistat final de materials aptes.

Material	Tecnologia	
HSHT Fiberglass-Reinforced Nylon	FDM	APTE
Carbon-Reinforced Onyx	FDM	APTE
Kevlar-Reinforced Onyx	FDM	APTE
Kevlar-Reinforced Nylon	FDM	APTE
Fiberglass-Reinforced Onyx	FDM	APTE
Fiberglass-Reinforced Nylon	FDM	APTE
Carbon-Reinforced Nylon	FDM	APTE
CarbonMide (carbon-fibre filled polyamide 12)	FDM	APTE
PEI - ULTEM 1010	FDM	APTE
PEI - ULTEM 9085	FDM	APTE
Nylon - PA (type 66, flame retarded)	FDM	APTE
Nylon+fibra de carboni (type 66, 30% de fibra de carboni)	FDM	APTE

Taula 3.7: Llistat final de materials aptes per la fabricació additiva de la reixeta de la presa de mar. Font pròpia

e) Comparació de costos de la reixeta de la presa de mar, en fabricació additiva i comprada

D'entre els materials seleccionats s'estudia el cost d'impressió de la reixeta. Es vol comprovar, ja que tots compleixen amb la norma, quin ofereix un cost més econòmic amb prestacions similars. Per això, s'ha de valorar:

- Cost del material consumible
- Cost de la impressora
- Cost de manteniment
- Cost del consum d'impressió

També s'ha de mirar si el material seleccionat és admissible per a la impressora d'estudi. A la drassana Astilleros Nicolau s'implementa la impressora **Discovery 3D Printer** [88]⁸, la qual admet qualsevol tipus de materials disponibles al mercat en forma de filament.

D'aquesta manera, del llistat de materials anteriors, s'ha fet una comparació amb aquells que poden ser impresos per la impressora *Discovery 3D Printer* i s'ha buscat un proveïdor d'aquest material.

- **Cost del material consumible**

De la base de dades de materials de l'Annex 4 s'ha extret el valor de la densitat i del proveïdor, s'ha extret el preu per Kg de material. A partir d'aquí, s'han seleccionat 3 materials possibles per a confeccionar la reixeta de la presa de mar. Es compara amb la reixeta de mar comprada en la següent Figura 3.15.

⁸ Consultar l'Annex 9: Fitxa tècnica de la impressora *Discovery 3d printer*

	material	pes (Kg)	pes (grams)	densitat (Kg/m3)	volum peça (m3)	volum peça (cm3)	preu/Kg	preu de l'element (€)	comparació de preu en funció del comprat (%)	comparació de pes en funció del comprat
reixeta comprada	bronze	1,50	1500,00	8900,00	0,00017	168,54	18,91	28,37	100,00	100,00
reixeta fabricació additiva	Nylon (PA) (PA (type 66, flame retarded))	0,19	193,82	1150,00	0,00017	168,54	96,68	18,74	66,05	12,92
	Nylon+fibra de carboni (type 66, 30% de fibra de carboni)	0,21	214,04	1270,00	0,00017	168,54	92,67	19,83	69,91	14,27
	PEI (Ultem)	0,21	212,36	1260,00	0,00017	168,54	941,38	199,91	704,66	14,16

Figura 3.15: Comparació del cost de la reixeta en fabricació additiva i comprada. Font pròpia

Es pot observar que la diferència del cost de material és rellevant igual que el pes. La reducció de pes d'emprar el Nylon és d'un 87%, complint amb les normatives establertes.

També es pot veure com el material PEI (Ultem) és excessivament car. Si bé es tracta d'un material amb unes excel·lents propietats mecàniques, tèrmiques i de durabilitat, té un cost molt superior al de la peça confeccionada de forma tradicional.

	Material	Cost del material de la impressió
Element comprat	Bronze	28,37 €
Element confeccionat en	Nylon (PA)	19 €
fabricació additiva	Nylon reforçat amb fibra de carboni	20 €
	PEI (Ultem)	200 €

Taula 3.8: Cost del material per a la reixeta de la pressa de mar. Font pròpia

- **Cost de la impressora**

La impressora *Discovery 3D Printer* té un cost de 35.000€. A partir de dades facilitades per *Discovery 3D Printer* i *BCN3D*, s'estima que la vida útil de la impressora és d'aproximadament 14 anys. No obstant això, el temps real de funcionament de la impressora, no correspon a les 24h diàries durant els 14 anys, sinó a la jornada laboral de 8h/dia durant 250 dies anuals (s'ha descomptat el temps de vacances, caps de setmana i dies festius).

Càlcul del cost de la impressora			Vida útil	
Cost impressora	35000	€	14	anys
dies laborables en un any (2019)			250	dies
hores laborables			8	hores/dia

Total hores d'ús	preu/hora
28.000	1,3

Taula 3.9: Cost de la impressora *Discovery 3D Printer*. Font pròpia

Finalment, s'observa que el cost d'impressió en una hora és de 1,3€.

- **Cost de manteniment**

El cost de manteniment està estimat en 1,5€ diaris. En aquest cost s'ha inclòs els recanvis de peces, la instal·lació de noves eines precises, la neteja i lubricació i altres materials necessaris per a la confecció de les peces. En la Taula 3.10 es mostra un estudi del cost de manteniment de la impressora Discovery 3D Printer. En el càlcul del cost de la vida útil, no es té en compte els recanvis de les peces que es fan malbé, sinó que és en aquest apartat on té cabuda el cost de manteniment.

Cost manteniment		període de temps	dies	preu diari
canvi del hotend	80 €	3 anys	1095	0,07
lubricació i neteja de eixos	41 €	4 mesos	124	0,33
neteja del hotend amb nylon	5 €	1 setmana	7	0,70
instal·lació de galgas	25 €	1 anys	365	0,07
actualització de firmware	0		FALSO	
superfície d'impressió	26 €	3 anys	1095	0,02
final de carrera	3 €	1 anys	365	0,01
coberta de la impressora	295 €	4 anys	1460	0,20
barra de pegament	2 €	2 setmana	14	0,14
TOTAL (€)				1,5

Taula 3.10: Cost de manteniment de la impressora Discovery 3D Printer. Font pròpia

- **Cost del consum d'impressió**

Es procedeix a calcular el cost del consum d'impressió, atenent que la maquinària està activa 24h diàries que s'observa a la Taula 3.11.

cost consum	
consum	480 W
temps d'impressió diari	24 h
relació €/(kW·h)	0,1359 €/(kW·h)
IVA	1,21
TOTAL	1,9 €

Taula 3.11: Cost de consum de la impressora Discovery 3D Printer. Font pròpia

f) Dades de l'element confeccionat amb fabricació additiva

Les dades de la peça confeccionada amb fabricació additiva es mostren a la Taula 3.12. En aquesta es pot veure el cost total de la peça, en el qual es té en compte el cost de la impressora, el cost del consum i el cost de manteniment, proporcional al temps d'impressió. S'ha optat pel Nylon (PA) degut que té un cost inferior als altres materials mostrats anteriorment.

Dades de la reixeta de la presa de mar	
Normativa vigent	UNE EN ISO 9093-2:2019
Mètode d'impressió	FDM
Ubicació en l'embarcació	Sota la línia de flotació
Material	Nylon
Referència de compra material	[104]
Densitat del material	1150 Kg/m ³
Velocitat de la impressora	80 gr/h
Temps d'impressió	2h 25 min ⁹
Temps d'ús de la impressora	3h
Temps total de confecció	4h 30 min (es té en compte el temps de preparació i acabat de la peça)
Cost del material	96,68 €/Kg
Cost del material consumible	18,74 €
Cost de la impressora	3,75 €
Cost del consum	0,24 €
Cost de manteniment	0,6 €
Pes de la peça	194 g
Cost total de la peça	23,3 €

Taula 3.12: Dades de la reixeta de la presa de mar confeccionada amb fabricació additiva. Font pròpia

g) Comparació peça comprada i peça fabricada amb impressió 3D

Un cop s'han estudiat els diferents aspectes de l'element comprat i de l'element construït amb fabricació additiva, es procedeix a la comparació d'ambdós a fi de seleccionar l'òptim.

Peça	Cost		Pes		Reducció del cost	Reducció del pes
	Comprada	Fabricada	Comprada	Fabricada	%	%
Reixeta	28 €	23,3 €	1500 g	194 g	18	87

Taula 3.13: Taula comparativa de cost, pes i vida útil de la reixeta de la presa de mar comprada i en fabricació additiva. Font pròpia

⁹ Aquesta dada s'extreu a partir del pes de la peça i la velocitat de la impressora d'estudi.

Passa casc

a) Descripció

El passa casc, veure Figura 3.16, és un element que es pot trobar en diferents sistemes en una embarcació. Pot estar en el sistema de refrigeració, i és aquí on té cabuda aquest element en aquest treball. Concretament s'estudia el passa casc del sistema de refrigeració d'aigua salada.

De la mateixa manera que amb la reixeta de mar, amb aquest element s'han de tenir en compte la corrosió deguda a la salinitat i els microorganismes que poden obstruir les canonades. És aquí on té cabuda la importància del material d'aquests elements.



Figura 3.16: Passa casc embarcació TA-1-1350. Font pròpia

b) Regulació aplicable

De la mateixa manera que amb la reixeta de mar, s'estudia el passa casc dins el marc de les normes UNE-EN ISO i una societat de classificació, en aquest cas DNV GL, on la regulació aplicable en aquest cas depèn del material que s'esculli per a la construcció.

Com s'ha trobat amb la reixeta, DNV GL tampoc especifica quins materials poden ser emprats en l'aixeta de fons. No obstant això, estableix criteris de dimensionament d'espessors, en la secció 2: materials, punt 1: *pipng Systems* (Pag. 21, Pt4Ch6), la qual fa referencia a unes notes d'aplicació per als materials més emprats.

- a) **Acer inoxidable:** per a les aplicacions d'aigua de mar, com és aquest cas, no es recomanen els acers inoxidables tradicionals, incloent els 316 i 316L, pels inconvenients que presenten de corrosió. Els acers amb alt contingut en crom, molibdè i nitrogen són més adequats, encara que no estan lliures de corrosió. Aquests últims acers inoxidables engloben alguns austenítics i els dúplex (austenítics i ferrítics).
- b) **Acer al carboni:** simplement restringeixen l'ús del que es coneix com "tub sense soldadura" en les aplicacions de Classe I i II.
- c) **Coure i aliatges de coure:** de la mateixa manera que en el cas de l'acer al carboni restringeixen l'ús de "tubs amb soldadura" en aplicacions de Classe I i II, però també estableixen un màxim de temperatura d'operació, arribant als 200 °C en tubs de coure o bronze, i de 300 °C en tubs de coure-níquel.
- d) **Aliatges metàl·lics no ferrosos i foses de ferro:** Els aliatges metàl·lics no ferrosos solen rebutjar-se principalment per preu (per exemple, el titani), les foses de ferro solen presentar diversos problemes mecànics, sobretot la baixa conformabilitat i es sol destinar aquest material a carcasses d'elements, filtres, vàlvules, etc.
- e) **Plàstic:** El material plàstic presenta les limitacions mecàniques pròpies del material que no ho fa recomanable per a instal·lacions fixes de grans dimensions. Els materials plàstics es veuen penalitzats per les baixes temperatures i pressions de treball segons normativa. Tot i això, l'embarcació d'estudi no té un sistema amb grans dimensions i, si bé per a tot un sistema de refrigeració no seria aplicable, per al contacte directe amb la salinitat del medi, es podria aplicar¹⁰.

Les opcions semblen reduir-se a elements d'acer inoxidable amb alta càrrega de molibdè, bàsicament dúplex, a canonades d'acer al carboni i a canonades de coure (són els materials més convencionals en conducció d'aigua). No es tenen en compte els diferents aliatges de coure, com ara el bronze. És costós trobar elements d'aquest material, els accessoris escassos i a més, el seu cost és important. No obstant això, s'ha d'analitzar un factor: la corrosió. Entre els materials comentats, el més perjudicat per la corrosió és l'acer al carboni. De fet, per estar en un sistema marí, DNV-GL sol·licita un sobre espessor considerable de 3mm.

¹⁰ A l'Annex 5 es troba una taula amb les pressions permissibles i els límits de temperatura de les canonades de termoplàstics.

Pel que fa a la normativa **UNE-EN ISO**, s'ha de valorar sobre quin element es treballa, un element no metàl·lic de canalització d'aigua salada, el qual pot adquirir certes pressions. Per això es farà referència a la mateixa normativa que la reixeta de la presa de fons: **UNE-EN 9093-2:2019**. "Pequeñas embarcaciones. Grifos de fondo y pasa cascós. Parte 2: No metálicos".

Els requisits dels materials són els mateixos que en el cas anterior: resistència a la corrosió, protecció UV i oxidació (es poden llegir a l'apartat Regulació aplicable). Tot i això, s'estableixen més requisits:

- Rosca:** han de complir amb la normativa ISO 228-1, ISO 7-1 i ISO
- Passa casc:** la longitud mínima del filetejat del mascle enroscat del passa casc unit a l'aixeta de fons ha de ser tal que, després d'haver enroscat la femella de la brida (si escau), la longitud restant del filetejat sigui com a mínim $L_1 + 5$ mm, tal com s'indica en la Taula 3.14:

Diàmetre nominal	Longitud mínima de filetejat
D_{rosca}	L_1 [mm]
G 3/8	11
G 1/2	12
G 3/4	13
G 1	16
G 1 1/4	18
G 1 1/2	20
G 2	22
G 2 1/2	25
G 3	28
G 4	30

Taula 3.14: Longitud mínima del filetejat de l'aixeta de fons. Font UNE EN ISO 9093-2:2019

- Aixeta de fons:** s'han de dissenyar de forma que permetin el funcionament en totes les condicions i una indicació d'obert o tancat (com pot ser amb la posició de la manovella). La longitud mínima de filetejat per a la fixació del passa cascós, ha de ser d'acord a la Taula 3.14.

- d) Conjunt:** el conjunt dels elements de l'aixeta de fons i passa casc s'han de concebre de tal forma que cap d'aquests es pugui soltar en cap condició. S'ha de situar de forma que es redueixi al mínim el risc.

El sistema de passa casc i aixeta de fons, disposa d'un colze, el qual també ha d'estar reglamentat. En la UNE EN ISO 10224:2002, s'indiquen les característiques mecàniques i assajos que han d'assolir els colzes després del conformat. Per a més informació, es pot consultar l'Annex 5 on es mostren els tipus, dimensions i assajos dels colzes.

c) Paràmetres i factors del passa casc i l'aixeta de fons en l'actualitat

En l'actualitat, al mercat es troba diversitat de proveïdors que ofereixen passa cascs i aixetes de fons. En la Figura 3.14 es pot observar una reixeta de mar amb el passa casc i l'aixeta de fons. Es troben fets de llautó, llautó cromat, acer inoxidable AISI 316, bronze, PVC (amb tapa d'acer inoxidable), niló amb coberta d'acer inoxidable... [105], [106].

Les dades del passa casc que actualment es troba en l'embarcació es mostren a la Taula 3.15.

Dades de el passa casc	
Normativa vigent	UNE EN ISO 9093-2:2019
Ubicació en l'embarcació	Sota la línia de flotació
Material	Bronze
Densitat del material	8900 Kg/m ³
Cost de la peça	41,24 €
Pes de la peça	0,47 Kg
€/Kg	87,74 €/Kg
Referència de compra online	[107]

Taula 3.15: Dades de el passa casc actual. Font pròpia

d) Selecció de materials per al passa casc en fabricació additiva

La normativa delimita la selecció de materials. Els nous criteris de requisits no afecten a la elecció de materials seguint amb el model de la reixeta de mar, per tant es pot aplicar la mateixa selecció oferint com aptes el següent llistat de materials a la Taula 3.16.

Material	Tecnologia	
Carbon-Reinforced Onyx	FDM	APTE
Kevlar-Reinforced Onyx	FDM	APTE
Kevlar-Reinforced Nylon	FDM	APTE
Fiberglass-Reinforced Onyx	FDM	APTE
Fiberglass-Reinforced Nylon	FDM	APTE
Carbon-Reinforced Nylon	FDM	APTE
CarbonMide (carbon-fibre filled polyamide 12)	FDM	APTE
PEI - ULTEM 1010	FDM	APTE
PEI - ULTEM 9085	FDM	APTE
Nylon+fibra de carboni (type 66, 30% de fibra de carboni)	FDM	APTE
phenolic / E glass fiber	FDM	APTE

Taula 3.16: Materials aptes per a la fabricació additiva del passa casc . Font pròpia

e) Comparació de costos del passa casc, en fabricació additiva i comprada

Com en l'apartat anterior, s'ha de valorar el cost d'impressió del passa casc. A diferència de l'estudi realitzat en la reixeta de mar, en aquest apartat no es farà mostra de tot el procés, sinó dels costos concrets, ja que la procés seguit és el mateix.

- **Cost del material consumible**

A continuació es mostra una taula on es compara el cost i el pes del passa casc comprat i confeccionat amb fabricació additiva, veure Figura 3.17.

	material	pes (Kg)	pes (grams)	densitat (Kg/m3)	volum peça (m3)	volum peça (cm3)	preu/Kg	preu de l'element (€)	comparació de preu en funció del comprat (%)	comparació de pes en funció del comprat
Passa casc	bronze	0,47	470,00	8900,00	0,00	52,81	87,74	41,24	100,00	100,00
passa casc fabricació additiva	Nylon (PA) (PA (type 66, flame retarded))	0,06	60,73	1150,00	0,00	52,81	96,68	5,87	14,24	12,92
	Nylon+fibra de carboni (type 66, 30% de fibra de	0,07	67,07	1270,00	0,00	52,81	92,67	6,21	15,07	14,27
	PEI (Ultem)	0,07	66,54	1260,00	0,00	52,81	941,38	62,64	151,89	14,16

Figura 3.17: Comparació del cost del passa casc en fabricació additiva i comprada. Font pròpia

En aquest cas, imprimir tant en Nylon (PA) com en Nylon amb fibra de carboni suposa un cost molt inferior a comprar la peça (veure Taula 3.17), un 6% del seu valor. De la mateixa manera, la disminució de pes també és molt considerable.

	Material	Cost del material de la impressió
Element comprat	Bronze	41,24 €
Element confeccionat en fabricació additiva	Nylon (PA)	5,8 €
	Nylon reforçat amb fibra de carboni	6,2 €
	PEI (Utem)	62,6 €

Taula 3.17: Cost del material per al passa casc. Font pròpia

- **Cost de la impressora, Cost de manteniment, Cost del consum d'impressió**

L'explicació detallada dels costos de la impressora, de manteniment i del consum elèctric, s'han explicat amb el primer element, la reixeta de la pressa de mar. A continuació es mostra una taula resum de l'estudi previ realitzat. Cal recordar que en els costos de la impressora, tal com s'ha explicat en la reixeta de mar, s'ha tingut en compte el temps d'ús i d'amortització de la màquina. Aquests costos es mostren a la Taula 3.18.

Estudi dels costos	Cost
Cost de la impressora	1,3 €/hora
Cost de manteniment	1,5 €/dia
Cost del consum d'impressió	1,9 €/dia

Taula 3.18: Costos de impressora, manteniment i consum d'impressió de la impressora Discovery 3D Printer. Font pròpia

f) Dades de l'element confeccionat amb fabricació additiva

Amb el passa casc s'opta pel material compost, degut que les propietats del Nylon amb fibra de carboni són millors que el Nylon PA, tot i tenir un pes i un cost lleugerament superior.

Dades del passa casc en fabricació additiva	
Normativa vigent	UNE EN ISO 9093-2:2019
Mètode d'impressió	FDM
Ubicació en l'embarcació	Sota la línia de flotació
Material	Nylon reforçat amb fibra de carboni
Referència de compra material	[108]
Densitat del material	1270 Kg/m ³
Velocitat d'impressió	80gr/h
Temps d'impressió	50 min
Temps d'ús de la impressora	1h 30 min
Temps total de confecció	2h 30 min (es té en compte el temps de preparació i acabat de la peça)
Cost del material	92,67 €/Kg
Cost del material consumible	6,21 €
Cost de la impressora	1,9 €
Cost del consum	0,12 €
Cost de manteniment	0,29 €
Pes de la peça	60 g
Cost total de la peça	8,5 €

Taula 3.19: Dades del passa casc en fabricació additiva. Font pròpia

g) Comparació peça comprada i peça fabricada amb impressió 3D

Un cop s'han estudiat els diferents aspectes de l'element comprat i l'element construït amb fabricació additiva, es procedeix a la comparació d'ambdós a fi de seleccionar l'òptim.

Peça	Cost		Pes		Reducció del cost	Reducció del pes
	Comprada	Fabricada	Comprada	Fabricada	%	%
Passa casc	41,2 €	8,5 €	470 g	60 g	79	86

Taula 3.20: Taula comparativa de cost, pes i vida útil del passa casc comprat i en fabricació additiva. Font pròpia

Aixeta de fons de la presa de mar

a) Descripció

L'aixeta de fons de la presa de mar és un element que es troba sota la línia de flotació en una embarcació. Aquest element té cabuda en el sistema de refrigeració. La reixeta de la presa de mar, el passa casc i l'aixeta de fons, són tres elements que, en aquest treball, formen part del mateix sistema, el sistema de refrigeració d'aigua salada.

b) Regulació aplicable

Com amb la reixeta de mar i el passa casc, la regulació aplicable en l'aixeta de fons és la igual, tant pel que fa a les normes UNE-EN ISO com amb la societat de classificació de DNV GL. Així, degut que la normativa és la mateixa, no es farà esment en aquest apartat. Es pot consultar Regulació aplicable de les peces anteriors.

c) Paràmetres i factors de l'aixeta de fons en l'actualitat

Com s'ha esmentat anteriorment, al mercat es troba diversitat de proveïdors que ofereixen aixetes de fons, com la que s'observa en la Figura 3.14. N'hi ha de llautó, llautó cromat, acer inoxidable AISI 316, bronze, PVC (amb tapa d'acer inoxidable), niló amb coberta d'acer inoxidable... [105], [106]. Les dades de l'aixeta que actualment es troba en l'embarcació es mostren a la Taula 3.15.

Dades de l'aixeta de fons	
Normativa vigent	UNE EN ISO 9093-2:2019
Ubicació en l'embarcació	Sota la línia de flotació
Material	Acer inoxidable
Densitat del material	7870 Kg/m ³
Cost de la peça	55,59 €
Mesura de la peça¹¹	1.1/2" PasØ40
Pes de la peça	1780 g
€/Kg	31,23 €/Kg
Referència de compra online	[109]

Taula 3.21: Dades de l'aixeta de fons actuals. Font pròpia

¹¹ Veure Annex 9: Fitxa tècnica vàlvula d'esfera TMM

d) Selecció de materials per a l'aixeta de la presa de mar en fabricació additiva

Com en el passa casc, els criteris són els mateixos i per tant, la selecció de materials aptes corresponen a *Selecció de materials per al passa casc en fabricació additiva* de l'apartat anterior.

Material	Tecnologia	
Carbon-Reinforced Onyx	FDM	APTE
Kevlar-Reinforced Onyx	FDM	APTE
Kevlar-Reinforced Nylon	FDM	APTE
Fiberglass-Reinforced Onyx	FDM	APTE
Fiberglass-Reinforced Nylon	FDM	APTE
Carbon-Reinforced Nylon	FDM	APTE
CarbonMide (carbon-fibre filled polyamide 12)	FDM	APTE
PEI - ULTEM 1010	FDM	APTE
PEI - ULTEM 9085	FDM	APTE
Nylon+fibra de carboni (type 66, 30% de fibra de carboni)	FDM	APTE
phenolic / E glass fiber	FDM	APTE

Taula 3.22: Materials aptes per a la fabricació additiva del passa casc . Font pròpia

e) Comparació de costos de l'aixeta de la presa de mar, en fabricació additiva i comprada

Estudiar els costos de l'aixeta implica, com en els casos anteriors, fer un anàlisi del cost del material consumible, el cost de la impressora, el de manteniment i el cost del consum durant la impressió. L'explicació detallada del procés es troba amb l'element de la reixeta de la presa de mar. Amb l'element de l'aixeta es procedirà a indicar els valors finals, sense atènyer-se a la explicació del procés.

- **Cost del material consumible**

En la Figura 3.18 es mostra un seguit de dades on comparar el cost i el pes de l'aixeta comprada o bé confeccionada amb fabricació additiva.

	material	pes (Kg)	pes (grams)	densitat (Kg/m3)	volum peça (m3)	volum peça (cm3)	preu/Kg	preu de l'element (€)	comparació de preu en funció del comprat (%)	comparació de pes en funció del comprat
Aixeta	acer inoxidable	1,78	1780,00	7870,00	0,00	226,18	31,23	55,59	100,00	100,00
Aixeta fabricació additiva	Nylon (PA) (PA (type 66, flame retarded))	0,26	260,10	1150,00	0,00	226,18	96,68	25,15	45,24	14,61
	Nylon+fibra de carboni (type 66, 30% de fibra de carboni)	0,29	287,24	1270,00	0,00	226,18	92,67	26,62	47,88	16,14
	PEI (Ulitem)	0,28	284,98	1260,00	0,00	226,18	941,38	268,28	482,60	16,01

Figura 3.18: Comparació del cost de l'aixeta en fabricació additiva i comprada

En el cas de l'aixeta de la pressa de mar, es pot observar que tant el Nylon com el Nylon reforçat amb fibra de carboni, presenten un preu deu vegades inferior, i el pes pràcticament també. El PEI (Ultem), en aquest element, té un cost lleugerament superior al de l'element i un pes notòriament inferior.

	Material	Cost del material de la impressió
Element comprat	Acer inoxidable	55,59 €
Element confeccionat en fabricació additiva	Nylon (PA)	25,15 €
	Nylon reforçat amb fibra de carboni	26,62 €
	PEI (Ultem)	268,3 €

Taula 3.23: Cost del material per a l'aixeta de fons. Font pròpia

- **Cost de la impressora, Cost de manteniment, Cost del consum d'impressió**

Com s'ha estudiat amb major detall en la reixeta de la pressa de mar, es pot observar a continuació una taula resum amb els costos de la impressora. Els costos diari, que es mostren a la Taula 3.24, fan referència al cost de compra de la impressora, al cost del manteniment que requereix (compra de recanvis o materials necessaris) i al cost del consum d'impressió. En aquest sentit, es veu que no es té en compte el cost de l'operari, sinó que es calcula el cost net de la peça.

Estudi dels costos	Cost
Cost de la impressora	1,3 €/hora
Cost de manteniment	1,5 €/dia
Cost del consum d'impressió	1,9 €/dia

Taula 3.24: Costos, manteniment i consum d'impressió de la impressora Discovery 3D Printer. Font pròpia

f) Dades de l'element confeccionat amb fabricació additiva

Amb el passa casc s'opta pel material compost, degut que les propietats del Nylon amb fibra de carboni són millors que el Nylon PA, tot i tenir un pes i un cost lleugerament superior.

Dades de l'aixeta en fabricació additiva	
Normativa vigent	UNE EN ISO 9093-2:2019
Mètode d'impressió	FDM
Ubicació en l'embarcació	Sota la línia de flotació
Material	Nylon reforçat amb fibra de carboni
Referència de compra material	[108]
Densitat del material	1270 Kg/m ³
Velocitat de la impressora	80 gr/h
Temps d'impressió	4 h
Temps d'ús de la impressora	4h 30 min
Temps total de confecció	5h 30 min (tenint en compte el temps de preparació i d'acabat)
Cost del material	92,67 €/Kg
Cost del material consumible	26,62 €
Cost de la impressora	5,6 €
Cost del consum	0,36 €
Cost de manteniment	0,87 €
Pes de la peça	287,4 g
Cost total de la peça	33,5 €

Taula 3.25: Dades de l'aixeta en fabricació additiva. Font pròpia

g) Comparació peça comprada i peça fabricada amb impressió 3D

Es procedeix a la comparació d'ambdós a fi de seleccionar l'element òptim.

Peça	Cost		Pes		Reducció del cost	Reducció del pes
	Comprada	Fabricada	Comprada	Fabricada	%	%
Aixeta de fons	55,59 €	33,5 €	1780 g	287,4 g	40	84

Taula 3.26: Taula comparativa de cost, pes i vida útil de l'aixeta de fons comprats i en fabricació additiva. Font pròpia

Consola o panell de comandament

a) Descripció

La caseta de govern o pont és l'espai des d'on es regeix l'embarcació i d'on es poden realitzar comunicacions a terra i amb altres vaixells. En aquest espai es disposen els elements de control de navegació, de direcció i equips de comunicació. Es disposa també del panell de llums de pont, que s'acostuma a veure dibuixat al pont com un màstil, els llums de navegació (proa, popa, d'abast, babord i estribord), el sistema de la roda del timó...

El panell de comandament d'estudi és on es troba la computerització dels diferents elements esmentats. La disposició d'aquests és essencial per a la gestió de l'embarcació, i per això la importància d'aquest espai.

b) Regulació aplicable

S'estudia el panell del lloc de comandament en el marc de les normes UNE EN ISO i la societat de classificació DNV GL, de la mateixa manera que els elements estudiats prèviament.

La societat de classificació DNV GL no especifica els materials que han de ser emprats, però sí que n'indica les propietats. A **DNVGL-RU-SHIP-Pt4Ch9-Section5-1.2.**, s'indica que no es poden emprar materials explosius o que puguin desenvolupar gasos tòxics. Tots els elements han de poder contribuir a no difondre el foc, han de ser retardants de flama, ignífugs.

DNV indica que s'han d'emprar materials d'alta resistència a la corrosió i a l'envelliment. El contacte metàl·lic entre diferents materials no ha de provocar corrosió electrolítica en un entorn marí. Es pot emprar resina epoxi reforçada amb vidre o equivalent [110].

En la **UNE EN ISO 1864:2008 Caseta de Govern** s'especifica que els instruments s'han de disposar tenint en compte la següent especificació, en les zones a l'esquerra de pilot (babord), i a la seva dreta (estribord), i en front d'ell (MS). Això inclou també els controls de peu, així com els sistemes de col·locació dels aparells de vigilància i control instal·lats al sostre de la caseta de govern o pont. Els dispositius de comandament, els monitors i els aparells de vigilància que pertanyen als mateixos aparells, s'han de reagrupar i col·locar de forma lògica. S'han de tenir en compte les condicions normals d'ús i de manteniment. Tots aquets han

d'estar marcats d'una manera clara i llegible d'acord amb la seva funció, emprant, en la mesura del possible, símbols normalitzats.

Referent a la seguretat, les parts del pupitre del govern que són manipulades freqüentment pel pilot, han de tenir una conductivitat tèrmica baixa.

Per a organitzar de forma ergonòmica els elements de control, els sistemes de localització i els aparells de vigilància, el pont de governament s'ha de dividir en zones situades a l'abast de la mà i zones visibles¹².

Així doncs, fent una comparació entre ambdues normatives, es pot veure que no quantifica les propietats dels materials necessaris, però principalment es demana que els materials emprats es caracteritzin per:

- a) Conductivitat tèrmica baixa
- b) Alta resistència a la corrosió i a l'envelliment
- c) No explosius ni que puguin desenvolupar gasos tòxics
- d) Ignífugs

c) Paràmetres i factors de la consola o panel de comandament en l'actualitat

Actualment al mercat es realitza l'estructura dels panells amb polièster reforçat amb fibra de vidre. Per a aquesta estructura es sol requerir la construcció d'un motlle. La part superior del panell pot estar confeccionada d'un termoplàstic o es realitza un tractament superficial sobre l'estructura realitzada, emprant una pintura acrílica modificada (pot contenir fosfat de zinc amb pigment anticorrosiu). El sistema de pintat sol estar basat en resines epoxi les primeres capes i resines acríliques les dues últimes per a facilitar el manteniment.

Concretament, la embarcació TA-1-1350, està composta per un panell d'estructura Sandwich de 2MATS 300 gr/m² i un taulell fenòlic de 12 mm i 2MATS 300gr/m². En la Figura 3.19 es mostra l'acabat final del taulell de l'embarcació d'estudi, amb un laminat de fusta fenòlica.

¹² Per a veure la distribució dels instruments més importants del lloc de comandament, consultar l'Annex 5.

El taulell fenòlic aporta a l'embarcació un acabat fixe i estètic. És molt resistent amb el contacte de l'aigua i la humitat, concretament en l'ambient salí. També es caracteritza pel seu alt grau de resistència al desgast i propietats antilliscants. És per això que aquest material és emprat tant per interiorisme del vaixell com per cobertes de vaixells.



Figura 3.19: Panell de l'embarcació TA-1-1350

Les dades del panell de comandament de pont que actualment es troba en l'embarcació es mostren a partir de la Taula 3.27.

Dades del panell de comandament de pont	
Normativa vigent	UNE EN 1864:2008
Ubicació en l'embarcació	Pont
Material	Panell Sandwich (laminat de fibra de vidre), resina i taulell fenòlic
Densitat de la fibra de vidre	0,3 Kg/m ²
Densitat resina de polièster	1100 Kg/m ³ [111]
Densitat del taulell fenòlic	554 Kg/m ³ [112]
(12mm de gruix)	
Àrea de material de la consola	8,9 m ² ⁽¹³⁾

Taula 3.27: Dades del panell de comandament de pont. Font pròpia

¹³ Aquest és un càlcul propi a partir de dades obtingudes de l'embarcació i a partir del disseny realitzat amb Rhinoceros.

Per a l'estudi dels costos, s'han de tenir en compte els següents càlculs:

- Es necessiten 600gr per cada m². El laminat és de 2 MATS, per tant es posen dos capes de fibra per cada cara, i com l'àrea de consola és de 8,9 m², es necessita un total de 17,80 m² que equivalen a 10,68 Kg.
- Es necessita 1200gr de resina per cada m², és a dir, el doble de pes en resina que de fibra laminada manualment. Així doncs, es requereixen 21,36 Kg de resina.
- L'àrea de la del taulell fenòlic ocupa els 8,9 m² i un extra de 2,82 m² per a la part frontal de la consola. Aquest taulell és d'un espessor de 12mm i pesa 78 Kg.
- Finalment, s'aplica un Gelcoat de densitat 1,29 g/ml i un espessor de 0,0005m.

Amb aquestes dades i els valors de referència de compra dels materials, s'estudia el cost de la consola de comandament de pont.

Estudi de costos	Dades de compra	Cost necessari per la consola
Cost MAT 300	4,25 €/m ² [113]	76 €
Cost Resina de polièster	9,6 €/Kg [114]	206 €
Cost taulell fenòlic (12mm)	32,72 €/m ²	292 €
Cost del Gelcoat	4,83 €/Kg	27,73 €

Taula 3.28: Estudi de costos de la consola de comandament. Font pròpia

Dades finals	
Cost de la consola	692 €
Pes de la consola	115,7 Kg

Taula 3.29: Dades del panell de comandament de pont actuals. Font pròpia

d) Selecció de materials per al panel de comandament en fabricació additiva

Un cop s'ha vist la normativa i els elements actuals al mercat, es procedeix a incidir en l'estudi del panell amb fabricació additiva.

En emprar la fabricació additiva, s'ofereix un alt grau de flexibilitat i seguretat. Amb el panell s'ofereix al capità del vaixell l'eina òptima per a què dugui a terme les maniobres amb seguretat i comoditat. I per això és important que el disseny sigui segons les normatives i el més còmode i pràctic per a la tripulació. Els diferents aspectes que es requereixen són:

- Conductivitat tèrmica baixa
- Alta resistència a la corrosió i a l'envel·liment

- c) No explosius ni que puguin desenvolupar gasos tòxics
- d) Ignífugs

Un cop es defineixen els requisits de normativa, tot i ser poc específics, es creuen les dades amb la base de dades de materials realitzada i els materials aptes per a la construcció del panell de comandament de pont són els que es mostren en la Taula 3.30.

Material	Tecnologia	
ABS FP (flame retarded, molding and extrusion)	FDM	APTE
ABS	FDM	APTE
ABS HI (high impact)	FDM	no apte
CPE, CPE+	FDM	APTE
PLA	FDM	no apte
PC (baixa viscositat, emmotllament i extrusió, retard de flama)	FDM	APTE
Nylon (PA) (PA (type 66, flame retarded))	FDM	APTE
Nylon+fibra de carboni (type 66, 30% de fibra de carboni)	FDM	APTE
PETG	FDM	no apte
TPU	FDM	APTE
PEI (Ultem)	FDM	APTE
PP (30% fibra de vidre)	FDM	no apte

Taula 3.30: Materials aptes per a la fabricació additiva del panell de comandament de pont. Font pròpia

Altres materials propis per aquest element, podrien ser compostos de fusta, que posteriorment se li pot aplicar un revestiment per a ser tèrmicament més duradors a altes temperatures.

Material	Tecnologia	
EasyWood	FDM	APTE

Taula 3.31: Altres materials aptes per a la fabricació additiva del panell de comandament de pont. Font pròpia

D'aquesta manera, s'observa que els materials que podrien ser emprats per a la impressió del panell de comandament o consola serien:

- a) ABS FP i ABS
- b) CPE, CPE+
- c) PC
- d) Nylon PA
- e) Nylon reforçat amb fibra de carboni
- f) TPU
- g) PEI (Ultem)
- h) EasyWood

e) Comparació de costos del panell de comandament o consola

D'entre els materials seleccionats, s'ha d'estudiar quin és econòmicament més rentable. Per això, de la mateixa forma que amb els elements treballats anteriorment, es valorarà:

- Cost del material consumible
- Cost de la impressora
- Cost de manteniment
- Cost del consum d'impressió

A continuació es mostra un estudi més desglossat d'aquests costos.

- **Cost del material consumible**

En aquest cas, el panell encara no ha estat dissenyat i per tant, tampoc confeccionat. Per això, es farà una estimació suposant que en un principi s'hauria emprat un Kg de fusta per a conformar el panell de comandament. De la base de dades confeccionada, s'han extret els valors necessaris de la densitat i cost del Kg de matèria. En la Figura 3.20 es mostra una comparació dels costos materials de la peça comprada i confeccionada amb fabricació additiva.

	material	pes (Kg)	pes (grams)	densitat (Kg/m3)	volum peça (m3)	volum peça (cm3)	preu/Kg	preu de l'element (€)	comparació de preu en funció del comprat (%)	comparació de pes en funció del comprat
Taulell fenòlic	diversos	115,70	115700,00		0,11	105270,00	5,98	691,91	100,00	100,00
Taulell fabricació additiva	ABS	11,40	11398,50	1020,00	0,01	11175,00	15,95	181,81	26,28	9,85
	Nylon+fibra de carboni (type 66, 30% de fibra de carboni)	14,19	14192,25	1270,00	0,01	11175,00	92,67	1315,15	190,08	12,27
	PEI (Ultem)	14,08	14080,50	1260,00	0,01	11175,00	941,38	13255,10	1915,73	12,17
	EasyWood - Ced	13,86	13857,00	1240,00	0,01	11175,00	58,67	812,94	117,49	11,98

Figura 3.20: Comparació del cost del panell de comandament en fabricació additiva i comprada. Font pròpia

S'observa que el material més econòmic és l'ABS, mentre que la comparació de pes en aquest cas es podria considerar molt significativa. El material PEI (Ultem), com en els casos anteriors, segueix resultant un material excessivament car.

	Material	Cost del material de la impressió
Element laminat	Resina de polièster, MAT300, Taulell fenòlic	692 €
Element confeccionat en fabricació additiva	ABS	181,81 €
	Nylon reforçat amb fibra de carboni	1315 €
	PEI (Ultem)	13255 €
	EasyWood-Cedro	813 €

Taula 3.32: Cost del material per al panell de comandament. Font pròpia

- **Cost de la impressora, Cost de manteniment, Cost del consum d'impressió**

Els costos diaris, ja estudiats amb detall a les altres peces, no varien en funció de la peça, ja que s'ha estudiat el cost diari, suposat que la jornada laboral és de 8h diàries. El resum dels costos es mostren a la Taula 3.33¹⁴.

Estudi dels costos	Cost diari
Cost de la impressora	9,6 €/dia
Cost de manteniment	1,5 €/dia
Cost del consum d'impressió	1,9 €/dia

Taula 3.33: Costos de impressora, manteniment i consum d'impressió de la impressora Discovery 3D Printer. Font pròpia

f) Dades element confeccionat amb fabricació additiva

Amb el panell s'opta pel material compost de fusta, degut que en aquesta peça té un pes important l'estètica. Es calcula quant costaria una part d'impressió de la peça. En últim terme s'aplica una capa de vernís per donar un acabat brillant i més resistent als raigs UV.

¹⁴ Per a major detall, consultar Comparació de costos del passa casc, en fabricació additiva i comprada.

Dades del panell de comandament en fabricació additiva	
Normativa vigent	UNE EN ISO 1864:2008
Mètode d'impressió	FDM
Ubicació en l'embarcació	Pont
Material	ABS i Vernís
Referència de compra material	[115] i [116]
Densitat del material	1020 Kg/m ³
Velocitat d'impressió	80 gr/h
Temps d'impressió	142,5 h ¹⁵
Temps d'ús de la impressora	183 min
Temps total de confecció	200 min (tenint en compte el temps de preparació i d'acabat)
Cost del material	15,95 €/Kg
Cost del material consumible	181,81 €
Cost de la impressora	228,75 €
Cost del consum	14,44 €
Cost de manteniment	35,40 €
Aplicació de vernís	5,45 € (400 grams)
Pes de la peça	11,4 Kg
Cost total de la peça	465,9 €

Taula 3.34: Dades de la consola o panell de comandament en fabricació additiva. Font pròpia

g) Dades element confeccionat en fabricació additiva

Un cop s'han estudiat els diferents aspectes de l'element comprat i l'element construït amb fabricació additiva, es procedeix a la comparació d'ambdós a fi de seleccionar l'òptim.

Peça	Cost		Pes		Reducció del cost	Reducció del pes
	Laminada	Fabricada	Laminada	Fabricada	%	%
Consola o panell de comandament	692 €	465,9 €	61,6 Kg	11,4 Kg	33	88

Taula 3.35: Taula comparativa de cost, pes i vida útil del panell de comandament de la pont comprat i en fabricació additiva. Font pròpia

¹⁵ Amb la dada de a velocitat de la impressora i el material necessari es realitza el càlcul del temps d'impressió.

Arc de llums de navegació

a) Descripció

L'arc és un element que es troba a la part més alta de l'embarcació, sobre el pont, i que disposa dels llums i marques pròpies d'ajuda a la navegació. En la Figura 3.21 es pot observar l'arc de l'embarcació d'estudi TA-1-1350.

És important que l'arc tingui el menor pes possible, ja que incrementar un pes a l'embarcació implica tres efectes. En primer lloc, augmenta el pes total i per tant el desplaçament. En segon lloc, canvia el calat. Major desplaçament implica més volum submergit i, per tant, major profunditat d'immersió. En tercer lloc, implica un canvi del centre de gravetat. Com el pes es disposa per sobre de la línia de flotació, el centre de gravetat pujarà i això implica que el vaixell és menys estable. Si bé el pes no és l'únic aspecte que incideix en la estabilitat, sí que és un criteri important a tenir en compte.



Figura 3.21: Vistes de l'arc de l'embarcació TA-1-1350. Font pròpia

b) Regulació aplicable

En primer lloc, cal incidir que l'arc no té una normativa específica, sinó que depèn implícitament de les normatives de llums i marques d'ajuda a la navegació. Així doncs, la forma pròpia d'aquest element està vinculada a l'ús d'altres elements. Per això a continuació s'expliquen les diferents llums pròpies d'un vaixell, i concretament, després es focalitzarà en un vaixell de pesca d'arrossegament.

A continuació es mostra la tipologia de llums [117]:

- (1) La llum de *tope* (llum blanca sobre l'eix que cobreix l'arc de l'horitzó de longitudinal 225° visibles des de la proa fins $22,5^\circ$ a popa del través.
- (2 i 3) La llum de costat és verda a estribord i vermella a babord i cobreix amb un arc d'horitzó de $112,5^\circ$ visibles des de la proa fins $22,5^\circ$ a popa del través. Si l'embarcació és de menys de 20m d'eslora, les llums de costat es poden combinar en un sol fanal.
- (4) La llum d'abast de popa és blanc i cobreix un arc d'horitzó de 135° visibles fins a $67,5^\circ$ a partir de popa.
- (5) La llum de remolcament és groga i cobreix un arc d'horitzó de 135° visibles fins a $67,5^\circ$ a partir de popa.

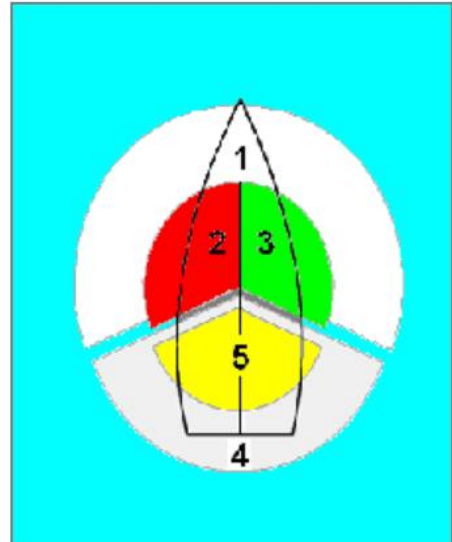


Figura 3.22: Llums i marques d'ajuda a la navegació

Concretament, en una embarcació de pesca d'arrossegament, les llums i marques d'ajuda a la navegació han d'estar disposades com es mostra en la Figura 3.23.

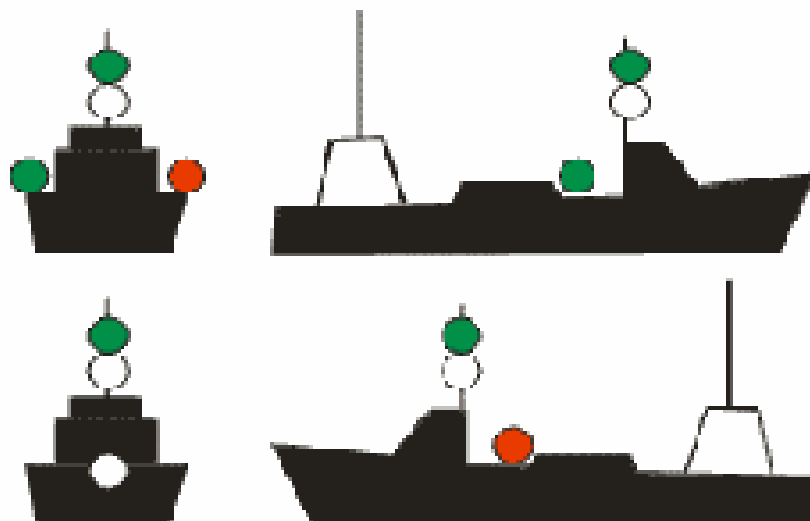


Figura 3.23: Llums i marques d'ajuda a la navegació d'un vaixell de pesca d'arrossegament de menys de 50m d'eslora

La regla 26 (Buques de pesca d'arrossegament) de la normativa COLREG (Convenció sobre el Reglament internacional per a la prevenció de col·lisions a la mar), indica que els vaixells han d'exhibir dues llums tot horitzó en línia vertical, verda la superior i blanca la inferior, o una marca consistent en dos cons units pels seus vèrtexs en línia vertical. També han de disposar d'una llum de *tope* a popa i més elevada que la llum verda tot horitzó en cas que l'embarcació sigui major a 50m d'eslora.

L'Annex 1 de COLREG, Posició i característiques tècniques de les llums i marques, indica amb major detall les normatives a seguir per les llums de navegació. Concretament, es farà esment de les normatives que apliquen a la embarcació en construcció a les drassanes Astilleros Nicolau: una embarcació de pesca entre 12 i 20m d'eslora [118]. De les diferents llums a la navegació, s'incideix en les pròpies que, en aquest treball, es situen a l'arc.

Posició i separació vertical de les llums

- En els vaixells de propulsió mecànica d'eslora entre 12 i 20m, la llum de *tope* ha d'estar col·locada a una alçada sobre la regala no inferior a 2,5m.
- La llum vertical o les llums de *tope* han d'estar col·locades de forma que quedin clares i per sobre de les altres llums
- Les llums de costat dels vaixells de propulsió mecànica aniran col·locades a una alçada per sobre del casc, no superior a les $\frac{3}{4}$ parts de l'alçada de la llum de *tope* de proa. No han d'estar tant baixes que interfereixin amb la llum de coberta.
- La més baixa de les llums en una embarcació de pesca ha d'estar col·locada a una altura per sobre de les llums de costat no inferior al doble de la distància que existeix entre les dos llums verticals.

Posició i separació horitzontal de les llums

- La distància horitzontal entre dos llums no ha de ser menor que la meitat de la eslora del vaixell. La llum de proa ha d'estar col·locada a una distància de la roda del vaixell, no superior a la quarta part de la seva eslora.
- El llum indicador de la direcció en un vaixell de pesca està situat a una distància horitzontal de 2m com a mínim i 6m com a màxim de les llums tot horitzó. Aquest llum no està col·locat més alt que la llum blanca tot horitzó ni més baixa que els llums de costat.

c) Paràmetres i factors de l'arc en l'actualitat

La confecció de l'arc situat sobre el pont, pot ser fet amb una estructura Sandwich laminada amb fibra de vidre i resina de polièster. També pot ser confeccionat amb un motlle. No obstant això, en aquest treball es mostra l'arc confeccionat amb estructura Sandwich, en la Taula 3.36.

Dades de l'arc	
Normativa vigent	COLREG, Regla 26 i Annex 1
Ubicació en l'embarcació	Sobre el pont
Material	Panell Sandwich (laminat de fibra de vidre), resina i taulell fenòlic
Densitat de la fibra de vidre	0,3 Kg/m ²
Densitat resina de polièster	1100 Kg/m ³ [111]
Densitat del taulell fenòlic (12mm de gruix)	554 Kg/m ³ [112]
Àrea de material de la consola	2,7 m ² ⁽¹⁶⁾
Pes de la peça	29,4 Kg

Taula 3.36: Dades de l'arc de pont. Font pròpia

Per a l'estudi dels costos, de la mateixa manera que en l'estudi de la consola de pont, s'ha de tenir en compte que s'empren 3 elements diferents i unes característiques pròpies que s'observen a la Taula 3.37:

Estudi dels materials	Dades de compra	Observacions
Cost MAT 300	4,25 €/m ² [113]	Es fa un laminat de 2MATS per cada cara. Per tant, es necessiten 1200 grams per a cada m ² .
Cost Resina de polièster	9,6 €/Kg [114]	Es necessita el doble de resina que de fibra, per tant, 2400grams per a cada m ² .
Cost taulell fenòlic (12mm)	32,72 €/m ²	L'àrea de la del taulell fenòlic és tota la superfície calculada, 2,7m ² , amb un espessor de 12mm i pesa 18 Kg.
Gelcoat	4,83 €/Kg	S'aplica com acabat a la superfície.

Taula 3.37: Dades de compra i observacions del laminat Sandwich

¹⁶ Aquest és un càlcul propi a partir de dades obtingudes de l'embarcació

Amb les dades anteriors comentades, es fa un càlcul del cost i el pes de l'arc laminat manualment amb estructura manualment amb estructura Sandwich que es pot veure a la

Taula 3.38.

MAT 300	laminat	Tipus reforç	Nº capes (a una cara del laminat)	Superfície tela (m2)	Pes material (kg)	Preu (€)	Preu (€/kg)
	sandwich	Mat 300	2	5,40	3,24	22,95	4,25

	grams de resina per m2	Kg de fibra	Kg de matriu	Preu resina (€)	Densitat (Kg/m3)
Resina de polièster	1200,00	3,24	6,48	62,21	1100

Gelcoat				
Densitat (g/ml)	Espessor (m)	Àrea total (m2)	Pes (kg)	Preu (€)
1,29	0,0005	2,70	1,74	8,41

Matriu	Preu (€/kg)
Gelcoat	4,83
Resina de polièster	9,6

	espessor (m)	Preu (€/m2)	Àrea (m2)	Preu (€)	volum (m3)	Densitat (Kg/m3)	pes (Kg)
taulell fenòlic (12mm)	0,012	32,72	2,70	88,344	0,0324	554	17,9496

cost total	181,91	€
pes total	29,41	Kg

Taula 3.38: Dades de l'arc de pont actuals. Font pròpia

d) Selecció de materials per a l'arc en fabricació additiva

Com s'ha comentat anteriorment, la normativa no especifica el material amb què ha d'estar confeccionat l'arc de pont. No obstant, es pot deduir que ha de ser d'un material que sigui resistent als raigs UV, a l'ambient salí, resistent a la corrosió i no explosiu.

S'han estudiat diferents materials, però tot i complir amb les propietats de resistència a raigs UV i a l'ambient marí, es buscarà un acabat brillant i amb major protecció a la corrosió. Per això, s'ha decidit emprar un vernís sòlid per a embarcacions. A continuació es mostren els materials aptes per a ser emprats en la construcció de l'arc de pont, a la Taula 3.39.

Material	Tecnologia	
ABS FP (flame retarded, molding and extrusion)	FDM	APTE
ABS	FDM	APTE
ABS HI (high impact)	FDM	no apte
CPE, CPE+	FDM	APTE
PLA	FDM	no apte
PC (baixa viscositat, emmotllament i extrusió, retard de flama)	FDM	APTE
Nylon (PA) (PA (type 66, flame retarded))	FDM	APTE
Nylon+fibra de carboni (type 66, 30% de fibra de carboni)	FDM	APTE
PETG	FDM	no apte
TPU	FDM	APTE
PEI (Ultem)	FDM	APTE
PP (30% fibra de vidre)	FDM	no apte

Taula 3.39: Materials aptes per a la fabricació additiva de l'arc de pont. Font pròpia

La normativa especifica tot el sistema de les llums i marques d'ajuda a la navegació, que són els aspectes que s'han valorat per a fer un disseny propi. A continuació es mostra en la Figura 3.24 i en la Figura 3.25 el disseny realitzat per estudiar els costos de confecció.

Aquest disseny és propi i s'ha valorat la normativa que regeixen les embarcacions de pesca d'arrossegament. Es pot observar que es tracta d'un disseny on s'han contemplat els espais per a les llums i marques d'ajuda a la navegació. S'ha valorat l'ús de LEDS, però no s'ha estudiat el circuit elèctric de l'arc, tot i que es disposa d'espai per a realitzar-lo.

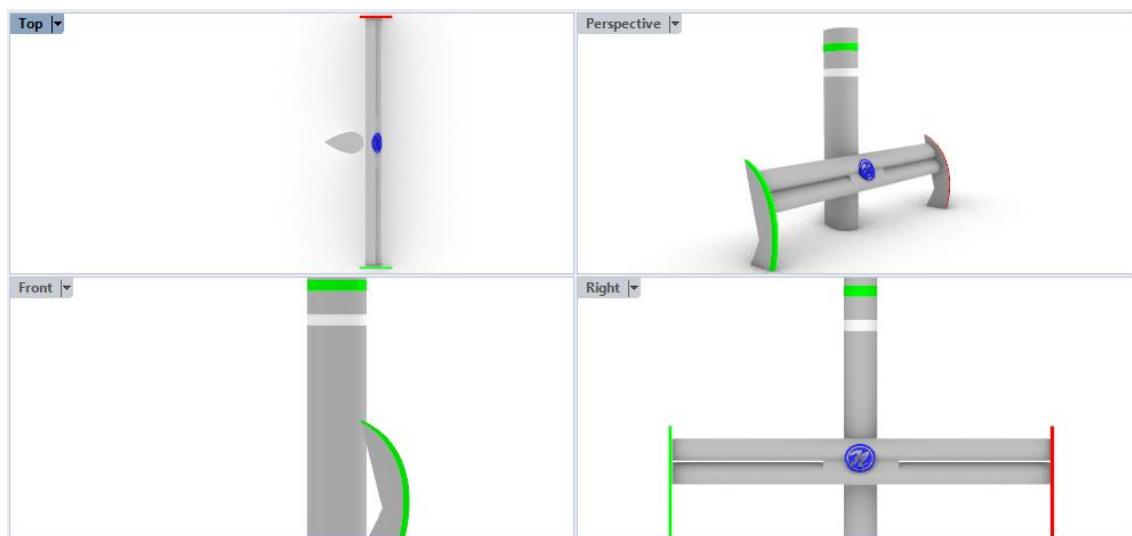


Figura 3.24: Vistes de l'arc de pont amb les llums i marques d'ajuda a la navegació. Realitzat amb Rhinoceros. Font pròpia

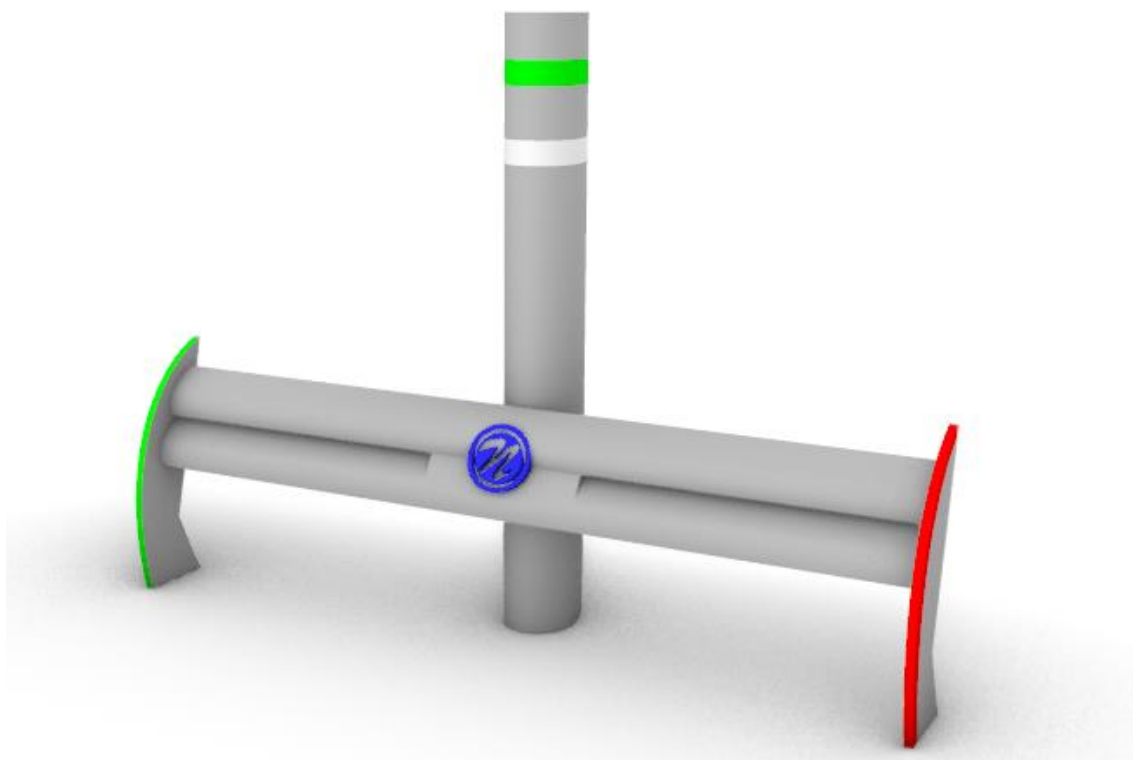


Figura 3.25: Vista de l'arc amb les llums i marques d'ajuda a la navegació. Realitzat amb Rhinoceros. Font pròpia

e) Comparació de costos de l'arc, en fabricació additiva i comprada

D'entre els materials seleccionats en l'apartat anterior s'ha d'escollir aquell que sigui apte i més econòmic. A continuació es mostra l'estudi de les diferents variables dels costos: del material consumible, de la impressora, de manteniment i del consum d'impressió.

- **Cost del material consumible**

En aquest cas, l'arc encara no ha estat dissenyat i per tant, tampoc confeccionat. Per això, es farà una estimació amb un disseny propi. Al final es podran comparar els costos del mateix element confeccionat amb estructura Sandwich o imprès 3D. En la Taula 3.40 es mostra una comparació dels costos materials de la peça comprada i confeccionada amb fabricació additiva.

	material	pes (Kg)	pes (grams)	densitat (Kg/m3)	volum peça (m3)	volum peça (cm3)	preu/Kg	preu de l'element (€)	comparació de preu en funció del comprat (%)	comparació de pes en funció del comprat
arc	sandwich	29,41	29410,00		0,003	2966,00	6,19	181,91	100,00	100,00
Taulell fabricació additiva	ABS	3,03	3025,32	1020,00	0,003	1966,00	15,95	48,25	26,53	10,29
	Nylon+fibra de carboni (type 66, 30% de fibra de carboni)	3,77	3766,82	1270,00	0,003	1966,00	92,67	349,06	191,89	12,81
	PEI (Ultem)	3,74	3737,16	1260,00	0,003	1966,00	941,38	3518,09	1933,97	12,71
	EasyWood - Cedar	3,68	3677,84	1240,00	0,003	1966,00	58,67	215,77	118,61	12,51

Taula 3.40: Comparació del cost de l'arc de pont en fabricació additiva i comprada. Font pròpia

Tal com es pot observar en la taula, s'ha fet l'estudi amb quatre materials diferents, principalment per observar la variabilitat de costos i prestacions que ofereix el mercat. S'observa que el material més econòmic és el filament d'ABS, mentre que tots els materials mostren una significativa rellevància de pes. El material PEI (Ultem), com en els casos anteriors, segueix resultant un material excessivament car.

S'observa que el material més econòmic l'ABS seguit del filament de fusta, i la comparació de pes en aquest cas es podria considerar significativa en tots els materials. El material PEI (Ultem), com en els casos anteriors, segueix resultant un material excessivament car.

- **Cost de la impressora, cost de manteniment, cost del consum d'impressió**

De la mateixa manera que s'ha estudiat els elements anteriors, els costos diaris es mostren a la Taula 3.41.

Estudi dels costos	Cost diari
Cost de la impressora	9,6 €/dia
Cost de manteniment	1,5 €/dia
Cost del consum d'impressió	1,9 €/dia

Taula 3.41: Costos de impressora, manteniment i consum d'impressió de la impressora Discovery 3D Printer. Font pròpia

f) Dades element confeccionat amb fabricació additiva

Un cop s'han vist els diferents materials, es procedeix a escollir l'ABS i proporcionar un acabat. Amb el panell s'opta pel material compost de fusta, degut que en aquesta peça té un pes important l'estètica. Es calcula quant costaria una part d'impressió de la peça.

Dades del panell de comandament en fabricació additiva	
Normativa vigent	COLREG, Regla 26 i Annex 1
Mètode d'impressió	FDM
Ubicació en l'embarcació	Sobre el pont
Material	ABS i vernís
Referència de compra material	[115] i [116]
Densitat del material	1020 Kg/m ³
Temps d'impressió	20 h
Cost del material	15,95 €/Kg
Cost del material consumible	48,25 €

Cost de la impressora	25 €
Cost del consum	3 €
Cost de manteniment	7,4 €
Pes de la peça	3 Kg
Acabat de vernís	5,45 € (400grams)
Cost total de la peça	111,6 €

Taula 3.42: Dades de l'arc de pont en fabricació additiva. Font pròpia

g) Comparació peça comprada i peça fabricada amb impressió 3D

Un cop s'han estudiat els diferents aspectes de l'element comprat i l'element construït amb fabricació additiva, es procedeix a la comparació d'ambdós a fi de seleccionar l'òptim.

Peça	Cost		Pes		Reducció del cost	Reducció del pes
	Comprada	Fabricada	Comprada	Fabricada	%	%
Aixeta de fons	182 €	111,6 €	29 Kg	3 Kg	39	90

Taula 3.43: Taula comparativa de cost, pes i vida útil de l'arc de pont comprat i en fabricació additiva. Font pròpia

Es pot observar que tant la reducció de cost com la reducció de pes són molt significatives. A més a més, com aquest element es troba en la part superior del vaixell, la reducció de pes és un factor més rellevant encara, ja que ajuda a l'estabilitat de l'embarcació

3.3.1. Comparativa dels elements seleccionats

Un cop s'han estudiat els diferents aspectes de l'element comprat i l'element construït amb fabricació additiva, es procedeix a la comparació d'ambdós a fi de seleccionar l'òptim. Es pot observar com en tots els casos la pèrdua de pes és notòria. Pel que fa als costos, la fabricació additiva resulta econòmica, tot i que hi ha peces on aquesta diferència es fa més present. A la Taula 3.44 es pot observar un resum dels costos i el pes dels quatre elements estudiats, de manera que es pot comparar la peça comprada amb la peça confeccionada amb fabricació additiva.

Peça	Cost		Pes	
	Comprada	Fabricada	Comprada	Fabricada
Reixeta de la presa de mar	28 €	23 €	1500 g	194 g
Passa casc	41 €	8,5 €	470 g	67 g
Aixeta de fons	56 €	33,5 €	1780 g	287 g
Consola o panell de comandament	692 €	466 €	116 Kg	11,4 Kg
Arc	182 €	111,6 €	29 Kg	3 Kg

Taula 3.44: Taula comparativa de cost, pes i vida útil peces comprades i en fabricació additiva. Font pròpia

3.4. Consideracions finals

En aquest capítol s'ha mostrat un mètode de selecció de materials per a la confecció d'elements propis d'una embarcació de pesca i aplicable a altres embarcacions que s'explica tot seguit en dues fases.

En primer lloc, s'ha contextualitzat l'estudi en una embarcació de Sant Carles de la Ràpita. A partir d'estudiar el passat, construir el present i amb projecció de futur, s'ha valorat la viabilitat de la inclusió de la fabricació additiva en "Astilleros Nicoalu" i el mètode de selecció de materials.

Com s'ha vist, aquest estudi no abasta tota l'embarcació, ja que això requereix d'un estudi massa ampli. Però sí que s'ha fet una primera aproximació i valoració general: el primer llistat d'elements amb possibilitat de fabricació additiva. Amb aquest llistat s'ha volgut mostrar que hi ha molts components de l'embarcació susceptibles a ser fabricats en la pròpia drassana.

En segon lloc, s'ha realitzat un estudi detallat de quatre elements propis de l'embarcació. Un cop s'ha explicat aquest procés per a aquestes peces, a continuació s'explica de forma breu i resumida el procediment que s'ha de seguir per a la confecció de qualsevol altre element. Són els passos que s'han seguit per a valorar la viabilitat d'impressió i que es podria seguir per a qualsevol altre element dels llistats al principi del capítol. A continuació es mostra breument aquest mètode de selecció de materials:

- a) **Descripció:** és important saber de quin element es tracta, la seva ubicació en l'embarcació, ja que això condiciona els materials necessaris i l'aplicació d'unes normes o unes altres.
- b) **Regulació aplicable:** cal conèixer la normativa que regula la embarcació. Tant pel que fa a normes internacionals com de la societat de classificació pròpia de l'embarcació. Un cop es coneix, es llisten les propietats que es requereixen.
- c) **L'element en l'actualitat:** mirar el passat no és retrocedir, sinó aprendre. Per això cal conèixer i estudiar els materials que s'han emprat prèviament per a la confecció de la peça, els que han tingut millor resultat i els que no tant.
- d) **Selecció de materials:**

- En primer lloc, s'ha confeccionat una **base de dades** a partir del llistat de **materials** que pot imprimir la màquina que es disposa. En aquesta base de dades, s'ha inserit la composició, propietats generals, propietats mecàniques, propietats tèrmiques, propietats de processament, absorció i permeabilitat, durabilitat i reciclabilitat.
 - Seguidament, s'ha creat un espai amb les **propietats requerides** per normatives i s'ha observat si es compleixen o no.
 - A partir d'aquí es poden veure els **materials aptes** per a la confecció de l'element que s'estudia.
- e) **Comparació de costos** de la peça comprada o confeccionada amb fabricació additiva: Un cop es tenen els materials aptes, s'ha d'establir un criteri per a seleccionar un d'ells. En aquest treball, s'ha tingut en compte el cost de la peça i el pes.
- Cost del **material consumible** (es bo seleccionar-ne tres per a comparar-los posteriorment). No es tenen en compte les impressions fallides.
 - Cost de la **impressora**, és a dir de la inversió de comprar-la.
 - Cost de **manteniment**, tant pel que fa a recanvis de peces com a elements de neteja, lubricació o eines necessàries per a la construcció de la peça. No obstant, aquest cost és relatiu i es fa una suposició, ja que s'ha de saber amb més detall la mitjana d'hores de treball de la impressora.
 - Cost del **consum** d'impressió: el consum d'energia de les impressores és un cost relativament baix, però també és un factor que s'ha de valorar.
 - Càlcul del **cost total**
- f) **Comparació de pes** de la peça comprada o confeccionada amb fabricació additiva
- g) **Selecció del material** per a la confecció de la peça a partir de l'estudi del pes i dels costos

Aquest seria el procés a seguir per a valorar la impressió de diferents elements d'una embarcació. Aquest canvi de metodologia ha d'ajudar a canviar la concepció de la construcció naval. S'obren infinitat de possibilitats per a la inventiva sobre peces per a ser impreses.

Tot i les limitacions mecàniques que pot presentar la fabricació additiva, s'ha comprovat que hi ha elements que compleixen amb les normatives i que es poden confeccionar amb fabricació

additiva. Es pot concloure que la inversió d'una màquina, segons els càlculs realitzats, suposa beneficis per a la drassana: reducció del cost de l'embarcació i del seu pes.

Les peces estudiades es podrien haver confeccionat mitjançant la fosa o el laminat manual amb fibra de vidre. A continuació es mostren quines són algunes de les principals limitacions d'aquests processos de fabricació en les peces estudiades. Clarament, hi ha altres elements que, per l'exigència de resistència mecànica necessària o d'estanqueïtat, serà preferible aplicar els processos coneguts fins ara. Així doncs es fa referència al llistat de peces susceptibles a ser impreses.

En el cas del procés de fabricació de la fosa, cal destacar les següents limitacions:

- Es requereix la confecció d'un motlle.
- El procés limita la geometria de la peça, ja que s'han de respectar uns angles mínims per al desemmotllament. Si la peça és buida per l'interior, s'ha de fabricar un element que cobreixi aquest buit amb sorres especials més resistents que el motlle, aspecte que augmenta el temps de fabricació i el cost.
- Es necessita un control del refredament de la peça, ja que es poden provocar tensions mecàniques.
- El procés de fosa no es pot aturar.
- Es requereix un post processament, per afinar la precisió i l'acabat.
- Es tracta d'un procés amb risc d'intoxicació o fuites de monòxid de carboni a les cisternes dels alts forns o per les canonades de gas existents. També es pot donar l'explosió per contacte entre aigua i metall o cremades.
- Es requereix de mà d'obra especialitzada i qualificada.

Tot i existir mesures preventives per als riscos esmentats, la fabricació additiva no es caracteritza per aquestes limitacions i per això resulta beneficiosa en els aspectes estudiats.

En el cas del procés del laminat manual de fibra de vidre, es sap que afavoreix la estanqueïtat i disminueix el pes, costos, temps, entre d'altres factors. No obstant, el laminat manual presenta alguns inconvenients:

- Excés de deposició de resina i creació de buits d'aire que afavoreixen la corrosió i el procés galvànic.
- Necessitat de mà d'obra especialitzada i qualificada.
- Es requereix una gran ventilació per evitar el risc d'intoxicació.
- Dificultat per reutilitzar els materials.

Un cop s'observen les limitacions dels processos explicats, s'observa que la fabricació additiva presenta, en les peces estudiades, un gran benefici en comparació de les tècniques i tecnologies tradicionals. A més a més, les tecnologies tradicionals ja han arribat al seu punt d'optimització, mentre que la indústria de la fabricació additiva està en creixement i desenvolupant noves variacions per incrementar el volum d'impressió, velocitat, propietats mecàniques, estanqueïtat i tipologia de materials.



CAPÍTOL 4: APLICACIÓ PRÀCTICA DE LA FABRICACIÓ ADDITIVA

4. APLICACIÓ PRÀCTICA DE LA FABRICACIÓ ADDITIVA

4.1. Introducció

A mode d'investigació més pràctica i exhaustiva, s'ha buscat com implementar una peça en fabricació additiva al camp de la indústria naval. Concretament, de les 4 peces estudiades al capítol 3, s'ha optat per aprofundir en el disseny del panell de comandament per a l'embarcació pesquera estudiada. La selecció d'aquest element s'ha fet perquè, en cas de necessitar una consola de comandament molt específica de forma urgent, es pot oferir sense necessitat d'una llarga espera.

L'estudi previ ha mostrat la viabilitat de construir aquest element. En aquest apartat, es mostrarà quin ha de ser el disseny de la consola de comandament i en quantes peces hauria de ser confeccionada.

De forma resumida, el projecte consisteix en el modelitzat de les peces, la creació d'un model d'estudi, la modificació dels paràmetres d'impressió i la comprovació dels resultats d'impressió per a, posteriorment, veure si resulta viable.

L'objectiu principal d'aquest capítol és adquirir un coneixement complert de la fabricació additiva. Fins ara s'ha fet un estudi teòric de les diferents tecnologies i de les normatives, i un estudi pràctic dels elements que poden ser impresos en fabricació additiva. No obstant això, no s'ha confeccionat cap element. Per tant, amb aquest capítol, es pretén acabar de donar una nova dimensió al projecte i apropar-se una mica més a la indústria naval. Concretament, es farà un seguiment pràctic del procés genèric estudiat al capítol 1, seguint les vuit accions requerides en la confecció d'una peça mitjançant fabricació additiva.

D'aquesta manera, es segueix el següent ordre per a confeccionar la peça:

1. Conceptualització i disseny assistit per ordinador (CAD)
2. Conversió a StereoLithography (STL) / Arxiu de fabricació additiva (AMF)
3. Transferència a la màquina AM i manipulació d'arxius
4. Configuració de la màquina
5. Construcció
6. Retirada i neteja de l'objecte construït
7. Post processament
8. Aplicació

En la confecció d'aquest element, basat en la consola de comandament original i en les necessitats de la nova embarcació, es detalla des del disseny fins a la construcció de la peça en fabricació additiva. Aquesta s'ha realitzat a la Facultat Nàutica de Barcelona, amb una impressora 3D d'extrusió FDM. El disseny de la peça es realitza mitjançant el programa de Rhinoceros&Grasshopper. Per últim es mostren els resultats i consideracions finals de la confecció de la peça, indicant tant els resultats favorables com els desfavorables.

4.2. Disseny de la consola de comandament

4.2.1. Estudi dels equips propis de la consola

El primer pas per a dur a terme el disseny, mitjançant programes de modelat 3D, és desenvolupar un model d'estructura de panell d'acord amb les necessitats i les prestacions requerides per a aquest element. Així doncs, per al disseny de la consola de comandament d'estudi s'ha valorat en primer lloc quins són els diferents elements que han d'estar disposats en aquesta peça.

La UNE EN ISO 1864:2008 indica una distribució dels instruments de forma ergonòmica, la qual es pot observar a l'Annex 7. Els instruments es disposen tenint en compte la següent especificació, en les zones a l'esquerra del pilot (Bb, babord), a la seva dreta (TB, Estribord), i de front a ell (MS). Això inclou també els controls de peu, així com, si existissin, els sistemes de col·locació dels aparells de vigilància i control instal·lats al sostre de la caseta de pont. Els dispositius de comandament, els monitors i els aparells de vigilància que pertanyen a la mateixa família d'aparells, s'han de reagrupar i col·locar de manera lògica. S'han de tenir en compte també les condicions normals d'ús i de manteniment.

A partir de la normativa i dels elements que es requereixen en una embarcació de pesca es llista a continuació a la Taula 4.1 quins equips es disposen i la seva ubicació en el panell de comandament. Els elements que no tenen una disposició marcada amb una X, sinó amb un O, és perquè la normativa no especifica la seva ubicació. La normativa també dóna marge a la comoditat i ús de l'embarcació.

Element	Ubicació		
	Bb	MS	Tb
Canya /Volant		X	
Pilot automàtic		X	
Girocompàs		X	
Compàs magnètic		X	
Axiòmetre		X	
Clinòmetre		X	
Anemòmetre	O		
VHF	O		
Sonda			X
GPS			X
Plotter			X
AIS			X
Navtex			X
Equip detector d'incendi	O		
Alarma general		X	
Ordinador	O		
Panell d'alarmes i controls de sala de màquina	O		
Taulell de llums de navegació de coberta			X
Control del motor principal	X		
Dispositiu de l'àncora de popa	X		

Taula 4.1: equips de control, localització i vigilància de la consola de comandament. Font pròpia

Com diu la norma UNE EN ISO 1864:2008, la disposició dels elements de control en les diferents zones situades a l'abast de la mà (consultar Annex 7) s'ha de correspondre també amb la situació que han d'ocupar (Bb, MS o TB). Els elements de control d'ús habitual o aquells que necessiten un reglatge minuciós han de col·locar-se en la zona situada a l'abast de la mà (zona 1). Els elements de control a emprar en cas d'emergència s'han de col·locar al centre i han de ser fàcilment identificats. S'ha de deixar un espai suficient entre els diferents elements de control [119].

4.2.2. Estudi de normativa de disseny

Segons la UNE EN ISO 1864:2008, s'ha de disposar la consola de comandament de forma que, en la posició normal de treball, l'angle necessari de visió d'esquerra a dreta no sigui superior a 170° . Si la disposició ho permet, és convenient reduir aquest angle.

Si es col·loca algun dispositiu al sostre, aquests han d'estar a la zona lliure de reflexos i han de tenir una inclinació màxima de 30° a partir de la línia de visió del pilot i disposats de forma que la zona d'indicació sigui el més perpendicular respecte a l'eix de visió.

Els elements de control del timó poden integrar-se en el recolza braços dret del seient del pilot, a condició que aquest seient no sigui giratori i que els recolza braços no siguin abatibles.

L'alçada de les zones d'ús dels elements de govern situats a l'abast de la mà han de ser de (900 ± 50) mm. S'ha de disposar d'un espai suficient per als peus.

La posició dels elements de control ha d'estar ben indicada i ser fàcilment identificable. Els diferents aspectes que s'han mencionat es recullen en la següent figura, la qual indica gràfica i numèricament la normativa de la consola de comandament.

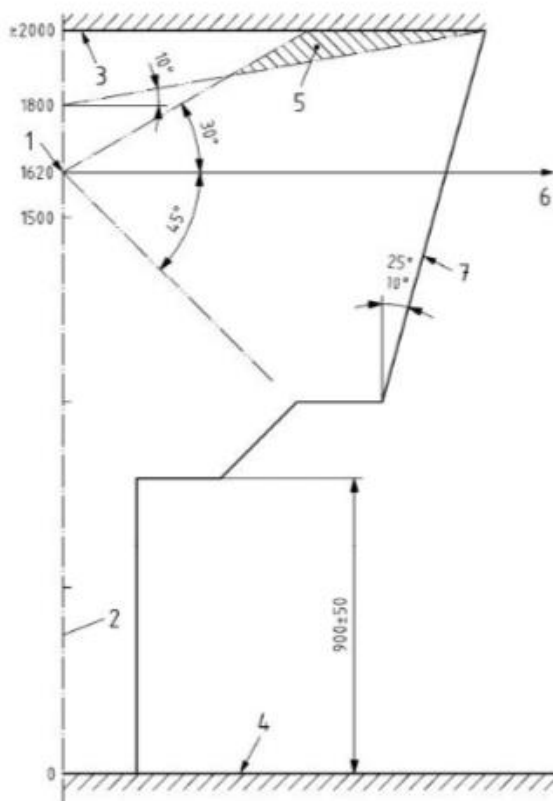


Figura 4.1: Vista lateral de la disposició dels instruments del sostre i de la consola de comandament. Font: UNE EN ISO 1864:2008

4.2.3. Disseny CAD/CAM

A partir dels diferents elements que es requereixen i de la normativa estudiada, es genera un model tridimensional on s'observen, a la Figura 4.3 i Figura 4.2, els espais on anirien els diferents equips electrònics per a la navegació, comunicació i seguretat del vaixell. La consola té una amplada de 2000mm, una alçada de 1600mm i una profunditat de 1150mm. Les cotes concretes de tot el disseny es poden consultar a l'Annex 9.

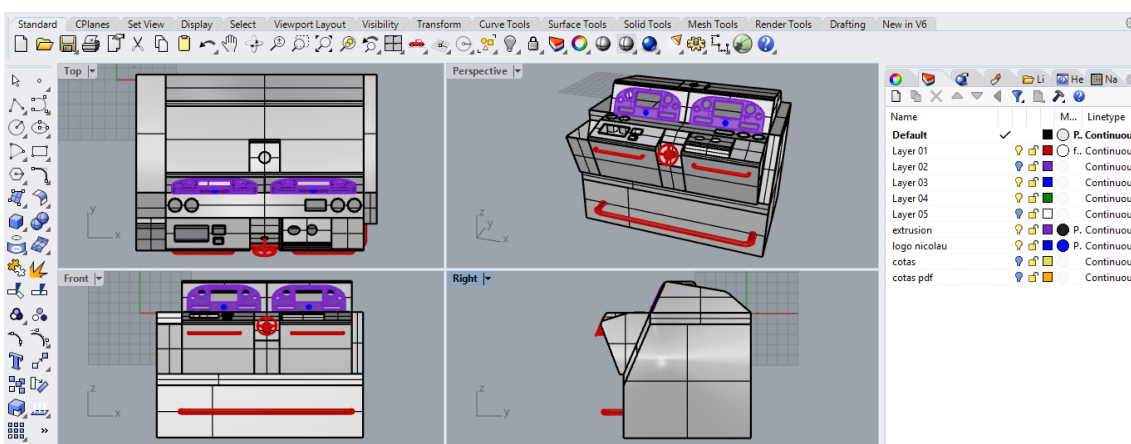


Figura 4.3: Disseny de la consola de comandament mitjançant Rhinoceros. Font pròpia

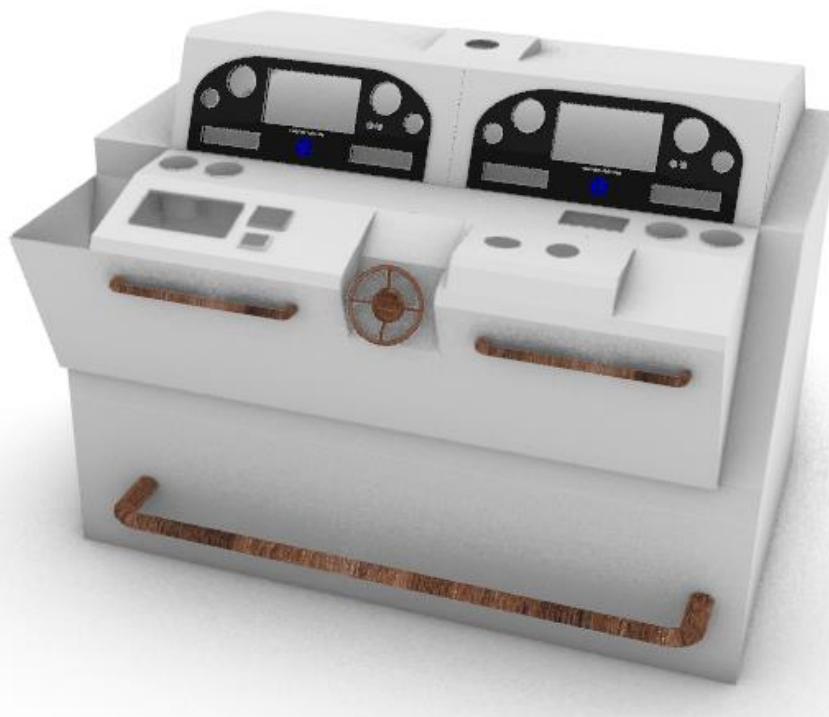


Figura 4.2: Renderitzat de la consola de comandament. Font pròpia

En aquest projecte, el modelitzat de peces ha estat dut a terme mitjançant el programa Rhinoceros. Prèviament s'han realitzat les cotes mitjançant plànols de les peces, que es poden observar a l'Annex 11.

Per al modelitzat s'han emprat diferents operacions, com la extrusió, el tall d'extrusió i creació de superfícies, entre d'altres.

4.2.4. Selecció de la secció a estudiar i disseny propi

El disseny mostrat disposa d'unes dimensions que escapen de la capacitat volumètrica d'impressió de la impressora 3D d'estudi. Això no implica que no es pugui imprimir, sinó que s'hauria de fer en diferents seccions i, posteriorment, unir-les mitjançant un sistema de juntes, de forma que es garantís la estanqueïtat. Aquest aspecte que a primera vista pot semblar un desavantatge, pot suposar un avantatge a l'hora de voler canviar o arreglar un dispositiu en cas d'averia, ja que es podria desmuntar la consola de comandament amb major facilitat.

En aquest sentit, també caldria dissenyar les juntes pròpies per establir unions entre les peces que confeccionen el taulell de comandament, que fossin suficientment fortes per unir els elements i amb un mecanisme senzill per a ser separades.

S'han pensat dues maneres de fer les unions. La primera, per garantir la estanqueïtat, es basa en un disseny d'unió tipus "T" entre les peces, tal com es mostra en la Figura 4.4. La segona unió es basa en la mateixa estructura tipus "T", però segellada amb resina epoxi.

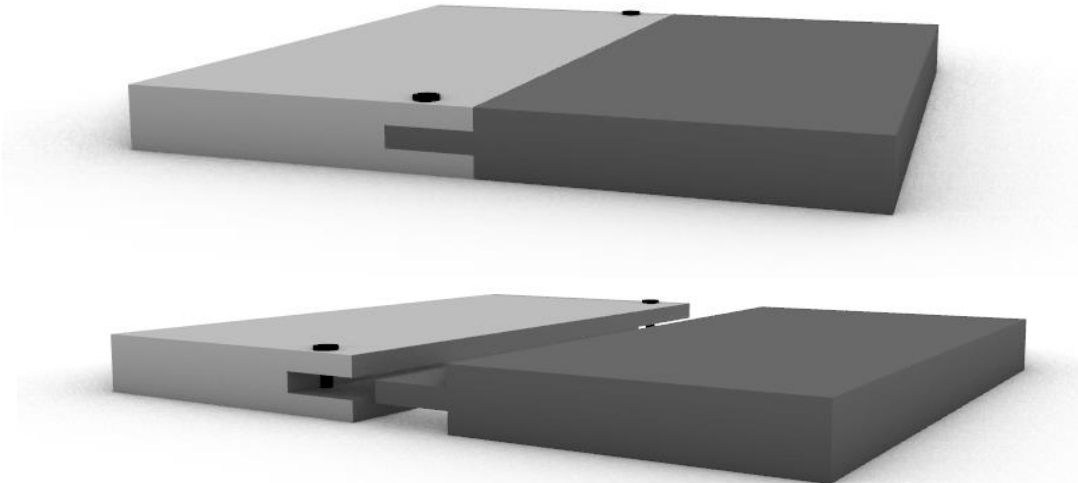


Figura 4.4: Unió tipus "T" entre les peces amb suport de cargol. Font pròpia

Tot i que en la imatge es mostren les dues peces que encaixen amb perfecció, a l'annex 11 es pot observar com les pestanyes que uneixen tenen un mil·límetre menys de gruix, per tal de garantir la penetració d'una peça en l'altra. S'ha de tenir en compte un marge de distància entre peces en la impressió 3D.

En aquest treball no es procedirà a imprimir tot el taulell, sinó una secció escalada. A continuació es mostra en la Figura 4.5 una secció feta de la Figura 4.2. Es pot observar que en comparació del disseny anterior, aquest presenta més espais per a dispositius i està dissenyat en volum, a fi de poder ser imprès.

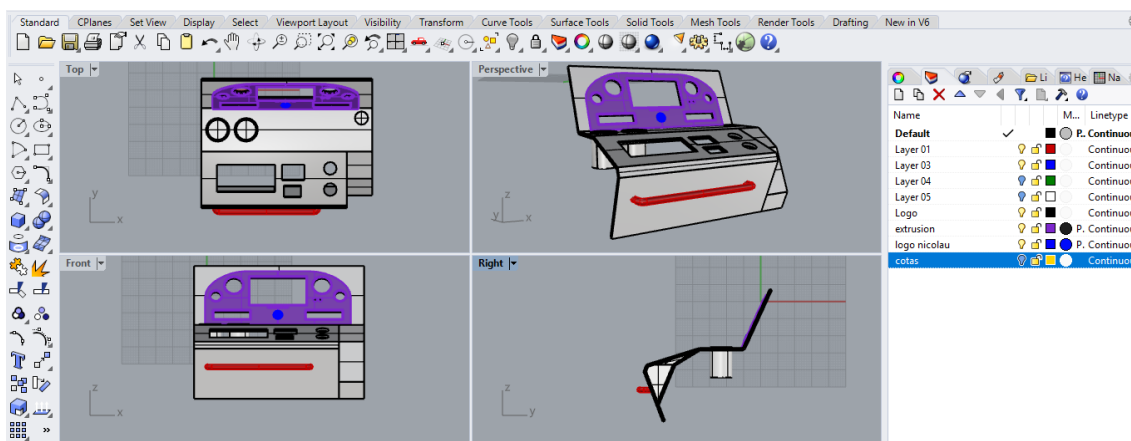


Figura 4.5: Disseny d'una secció de la consola de comandament mitjançant Rhinoceros. Font pròpia

Aquest disseny s'hauria de confeccionar en un total de 10 peces, tal com es mostra amb els segments en rosa en la Figura 4.6. Per tal de garantir la estanqueïtat, aquest disseny es basaria en les unions tipus T comentades anteriorment. La segellada podria escollir-se entre la resina

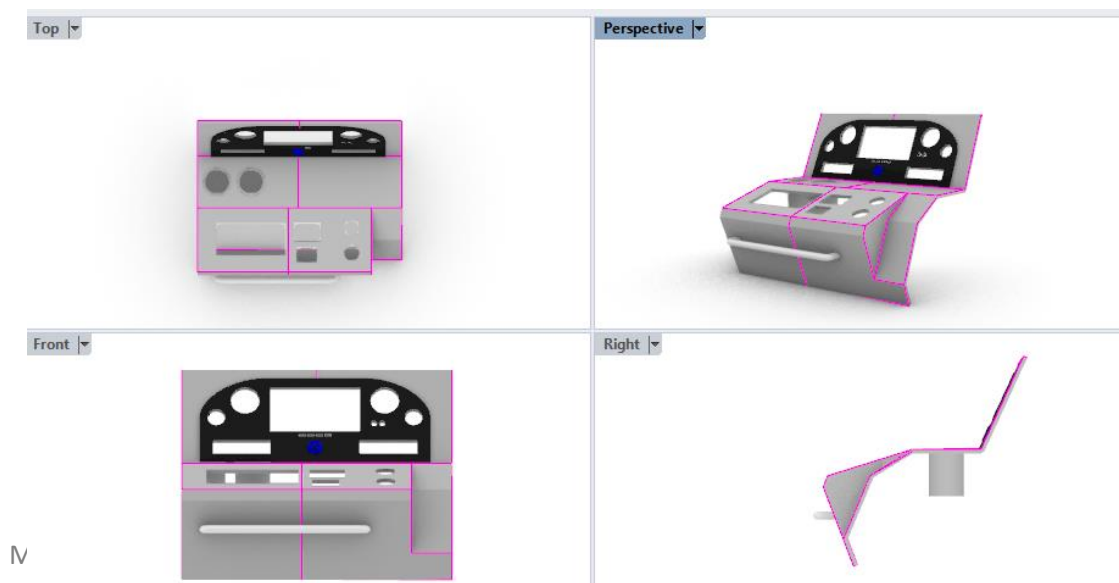


Figura 4.6: Peces que conformen el panell de comandament. Font pròpia

epoxi o bé l'ús de cargols.

El benefici d'emprar els cargols, seria que en cas de necessitat de canviar o actualitzar un element del taulell de control, es podria substituir la peça i generar-ne una altra amb les característiques dimensionals pròpies del nou element.

En la Figura 4.7 es pot observar el renderitzat del panell de comandament. També es pot observar que al lateral dret s'ha disposat el logotip de la drassana Astilleros Nicolau. Aquest detall es troba integrat en l'estructura de la consola, ja que la impressió 3D ho permet. D'aquesta forma, no només es personalitza el taulell sinó que també es pot deixar el segell propi del fabricant.



Figura 4.7: Renderitzat de la secció de la consola de comandament, mitjançant keyshot. Font pròpia

En cas que la drassana necessités noves prestacions o la incorporació d'altres elements d'ajuda a la navegació que prèviament no s'haguessin considerat, s'ha dissenyat una variació del model anterior, amb la base del primer. Aquest disseny és més senzill i té menys elements, tal com es pot veure en la Figura 4.8. Amb això, es vol mostrar que un cop s'ha fet un primer disseny, fer modificacions i adaptar-lo a noves embarcacions resulta relativament senzill. De forma que el temps de disseny és optimitzat en comparació al temps de construcció, el qual no es pot optimitzar més i s'han de fer tots els passos, des d'un inici.

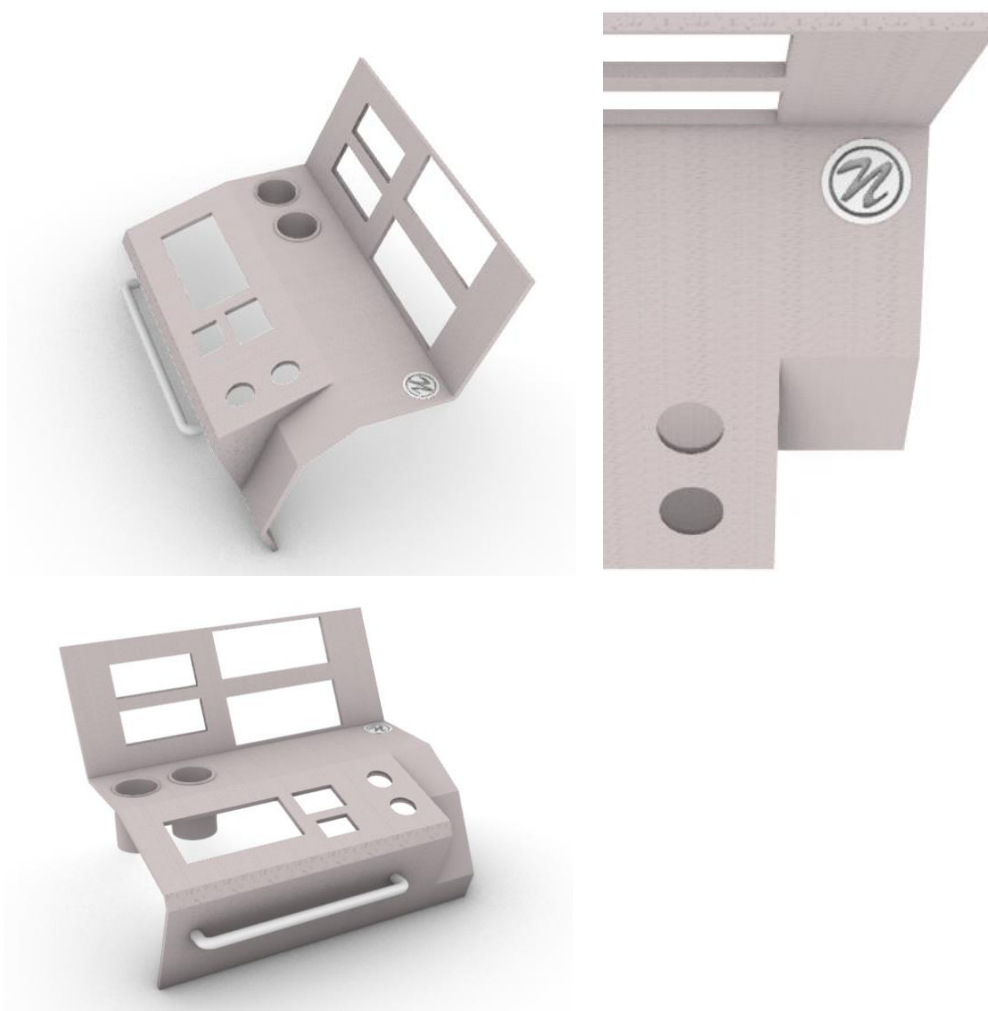


Figura 4.8: Segon renderitzat de la secció de la consola de comandament. Font pròpia

Com s'ha comentat, es procedirà a la impressió d'una part del panell de comandament, que s'observa a la Figura 4.9. Aquest disseny s'imprimirà amb una impressora de dimensions més petites que la que s'adquirirà a la drassana Astilleros Nicolau, per això es confeccionarà el model a escala. Per a major detall de les cotes, veure l'Annex 9.

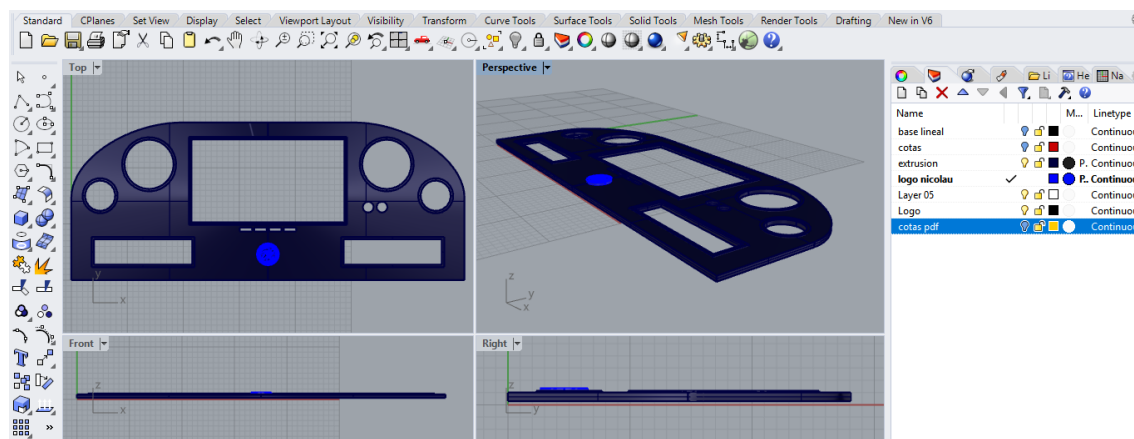


Figura 4.9: Vistes i renderitzat de la secció de la consola que es desitja imprimir. Font pròpia

4.3. Conversió a StereoLithography (STL). Arxiu de fabricació additiva

Un cop s'ha modelat la geometria CAD mitjançant el programa Rhinoceros&Grasshopper, es procedeix a la conversió del document a l'extensió .STL a fi que la impressora pugui llegir i procedir a la impressió. A continuació es mostra la previsualització de la tolerància (màxima distància entre la superfície original i la malla poligonal creada en format STL) en la Figura 4.10.

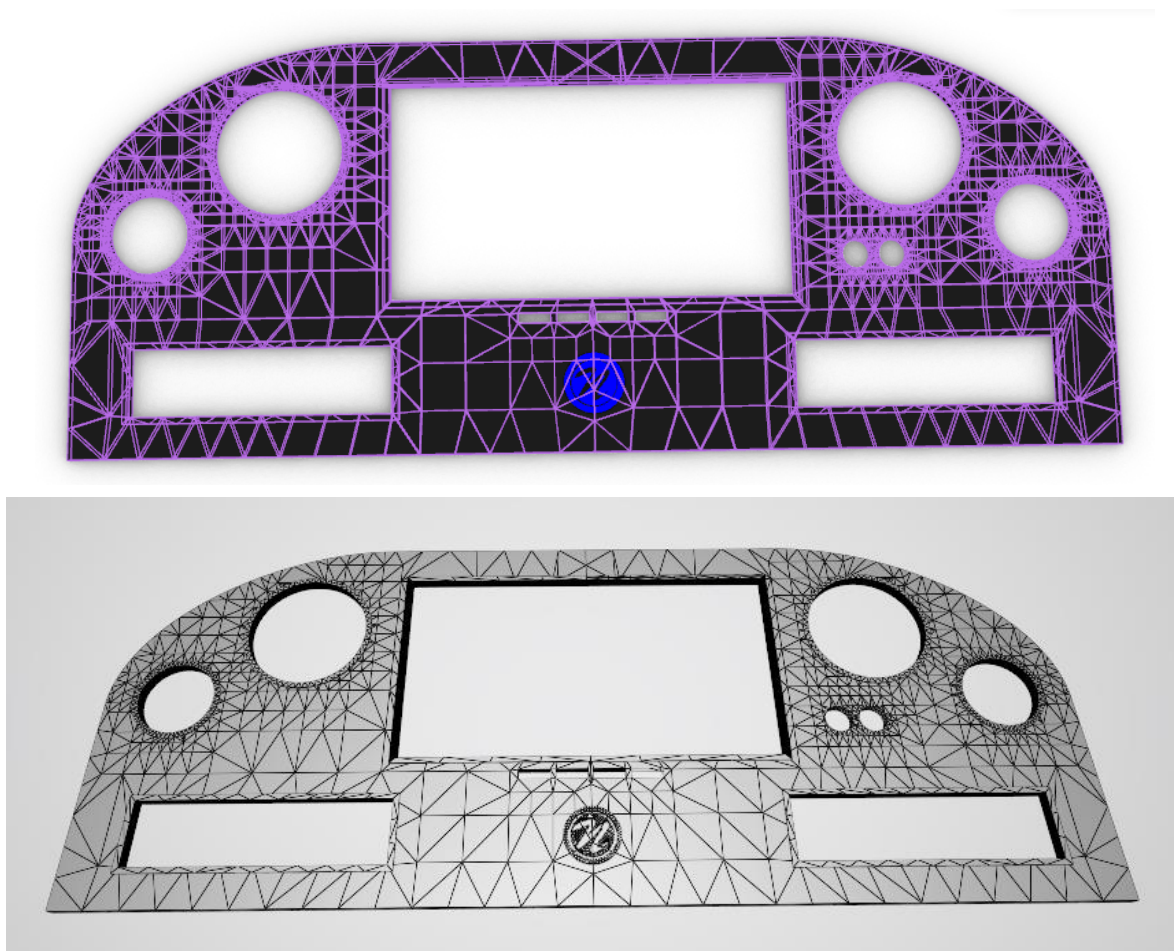


Figura 4.10: Conversió de la secció de la consola de comandament a StereoLithography (STL). Font pròpia

4.4. Transferència a la màquina AM i manipulació d'arxius

Després de la conversió a StereoLithography (STL), l'arxiu generat s'envia a la impressora per dur a terme el procés de construcció de la peça. Cada impressora empra un programa, el qual pot ser propi del fabricant de la impressora, i té el seu propi procediment per a dur-ho a terme. Concretament, la impressora que s'empra en aquesta confecció és la Sigma de BCN3D.

A la Figura 4.11 es mostra la manipulació de l'arxiu STL per a adaptar-ho a la impressora a fi de procedir a la impressió. S'escala l'eix X i Y a 2.5, de manera que la peça mesura 250mm i 100mm respectivament. Pel que fa a l'eix Z, per tal de poder observar amb major definició les formes dissenyades, es determina una alçada de 5mm.

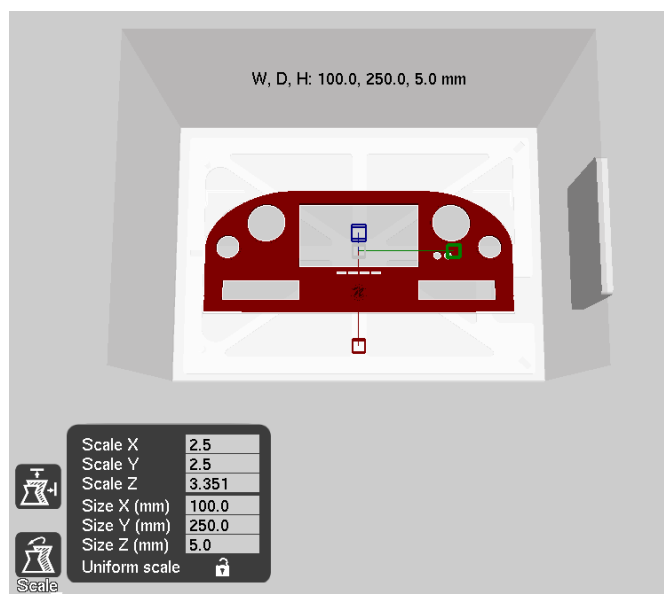


Figura 4.11: Transferència del format STL a la impressora Sigma i manipulació d'arxius. Font pròpia.

4.5. Configuració de la màquina

Hi ha paràmetres de configuració que depenen de la màquina de fabricació additiva i s'han d'ajustar just abans d'iniciar el procés de fabricació. En aquest procés s'escala la peça, es defineixen els materials.

Com s'ha estudiat en el capítol anterior, per a la confecció de la consola de comandament, no s'ha trobat cap normativa que reguli de forma explícita els materials que han de ser emprats. Per això, per a la confecció de la prova d'aquesta consola de comandament a escala, s'ha optat per imprimir-la amb PLA.

4.5.1. Propietats de la impressora BCN3D

És important tenir un coneixement previ de la impressora que s'usarà en el procés de confecció de la peça. En aquest treball, en ser una mostra, interessa conèixer principalment la tecnologia emprada, el volum d'impressió possible, la altura de la capa, la resolució de

posicionament, la temperatura de funcionament, la temperatura màxima de l'extrusor, la temperatura màxima del llit d'impressió, el diàmetre del filament i el material admissible. Tot seguit es mostra la Taula 4.2 amb les principals propietats comentades. Per a més informació es pot consultar [120].

Especificacions Sigma	
Tecnologia de fabricació	FDM
Dimensions generals de la impressora	465 mm x 440 mm x 680 mm
Volum d'impressió	210 x 297 x 210 mm
Nombre d'extrusors	2
Alçada de la capa	0,05-0,5 mm
Resolució de posicionament	Eix X: 0,0125 mm
	Eix Y: 0,0125 mm
	Eix Z: 0,001 mm
Temperatura de funcionament	15 °C – 35 °C
Temperatura d'extrusor màxima	290 °C
Temperatura màxima superfície d'impressió	100 °C
Diàmetre del filament	2,85 ± 0,05 mm
Material admissible	PLA/ABS/Nylon/PET-
	G/TPU/PVA/Composites/Altres
Consum elèctric	240 W

Taula 4.2: Especificacions de la impressora Sigma de BCN3D. Font: [120]

4.5.2. Propietats del material emprat

El PLA (àcid polilàctic) ofert per BCN3D és un polímer biodegradable, sostenible i segur que es fabrica a partir de fonts orgàniques. És el filament usat més freqüent en impressores 3D FDM per la seva facilitat d'ús i el seu ampli ventall d'aplicacions, especialment aquelles que no requereixen exigències tèrmiques ni mecàniques [121]. De forma genèrica les propietats d'aquest material són les que es mostren a continuació:

- Qualitat de superfície detallada i brillant
- Bona resistència a la tracció
- Bona resistència als raigs UV

- Resisteix temperatures de funcionament fins a 50 ° C.
- Sense olors, ideal per a entorns educatius i d'oficina
- Compatible amb suports PVA
- Resistència a baixa humitat

Concretament, es mostren tot seguit propietats específiques del filament que s'empra en aquest estudi [121].

Especificacions del filament	
Diàmetre	2,85 mm
Desviació màxima d'arrodoniment	0,03 mm
Pes del filament net	750 g
Densitat del material (ISO 1183)	1,24 g/cm ³
Propietats mecàniques	
Resistència a la tracció	MD 110 MPa
	TD 114 MPa
Mòdul de tracció	MD 3309 MPa
	TD 3861 MPa
Allargament al trencament	MD 160%
	TD 100%
Esquinçament Elmendorf	MD 15 g/ml
	TD 13 g/ml
Propietats tèrmiques	
Temperatura de deflexió de calor B	65 °C
Temperatura de reblaniment Vicat	85 °C
Configuració d'impressió	
Temperatura de l'extrusora	190 °C – 220 °C
Temperatura del llit	65 °C
Velocitat	10-70 mm/s
Velocitat de retracció	40 mm/s
Distància de retracció	4 mm
Ventilador de refrigeració	Sí
Alçada mínima de la capa	0,05 mm

Taula 4.3: Fitxa tècnica del PLA de BCN 3D. Font: [121]

4.5.3. Configuració de la impressió

En el moment d'imprimir en 3D, s'han de tenir en compte certs aspectes, com la velocitat de extrusió del material, la temperatura d'extrusió o la temperatura de la base de la impressora. En cas que no s'introdueixin els valors adequats, la peça no s'imprimirà de forma òptima. De forma genèrica, algun inconvenient que pot sorgir és que si la temperatura és inferior a la recomanada per la peça, es podrien formar buits entre les capes, possibilitant que les capes es separessin. En la situació oposada, en cas de tenir una temperatura elevada, es crearien buits en les parets de la peça. Així doncs, és important estudiar la temperatura adequada per a cada peça i material emprat.

Un altre aspecte important a tenir en compte es l'espessor de la capa. En disminuir l'espessor de la capa s'aconsegueix una major resolució i definició de l'objecte. Amb capes més fines es millora l'adherència entre les capes, per estar l'extrusor més a prop de la capa anterior durant la impressió. Per contra, hi haurà més capes i el temps d'impressió s'incrementarà.

Les diferents dades que s'introdueixen, tant pel que fa al disseny com a altres paràmetres, queden guardats en el codi G, el qual es mostra a la Figura 4.12.

```

M140 S50.000000
M109 S200.000000
M190 S50.000000
;Sliced at: Mon 08-07-2019 10:59:18
;Basic settings: Layer height: 0.2 Walls: 1.2 Fill: 60
;Print time: 4 hours 0 minutes
;Filament used: 6.957m 56.0g
;Filament cost: None
;M190 S50 ;Uncomment to add your own bed temperature line
;M109 S200 ;Uncomment to add your own temperature line
G21 ;metric values
G90 ;absolute positioning
M82 ;set extruder to absolute mode
M107 ;start with the fan off
G28 X0 Y0 ;move X/Y to min endstops
G28 Z0 ;move Z to min endstops
G92 E0 ;zero the extruded length
G1 Z5 F200 ;Safety Z axis movement
G1 F50 E7 ;extrude 7mm of feed stock
G92 E0 ;zero the extruded length again
G1 F200 E-4 ;Retract before printing
G1 F12000
M117 Printing... ;Put printing message on LCD screen

;Layer count: 25
;LAYER:0
M107
G0 F12000 X94.227 Y38.944 Z0.250
;TYPE:SKIRT
G1 F2400 X93.974 Y39.696 E0.01201
G1 X93.796 Y40.473 E0.02408
G1 X93.701 Y41.241 E0.03580
G1 X93.682 Y41.999 E0.04728
G1 X93.734 Y42.727 E0.05833
G1 X93.864 Y43.494 E0.07010
G1 X94.024 Y44.104 E0.07965
G1 X94.286 Y44.826 E0.09128
  
```

Figura 4.12:Mostra del G-Code de la consola de comandament. Font pròpia

Un cop s'ha configurat la impressora, aquesta indica les següents dades relatives a la confecció de la peça, tal com es pot observar en la Figura 4.13: la densitat de material en la peça, la temperatura de l'extrusor i s'escala la peça. S'orienta de forma que la base estigui en contacte amb el llit per tal de minimitzar la despesa del material.

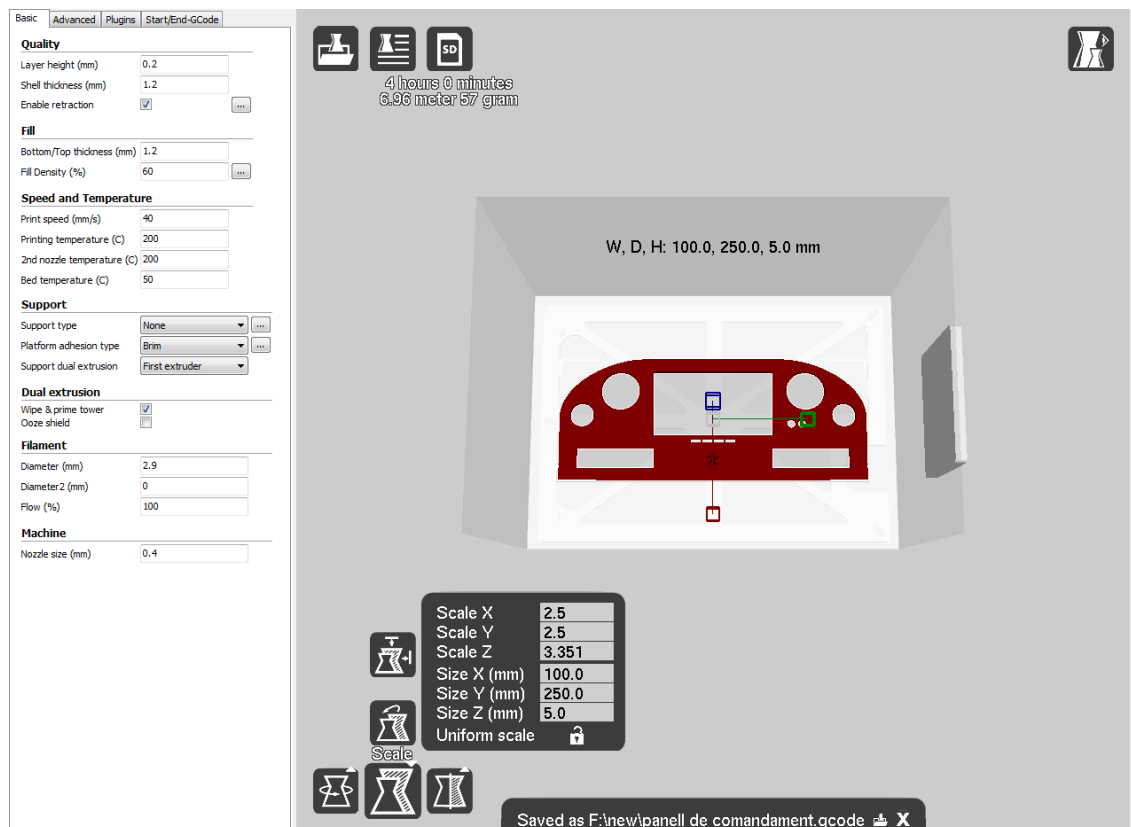


Figura 4.13: Dades d'impressió de la consola de comandament. Font pròpia

4.6. Construcció de la peça

En aquesta fase, completament automatitzada, pren forma el disseny CAD i en principi no es requereix la intervenció de la persona. Un efecte que s'ha de tenir en compte és l'efecte *Warping*, el qual fa que la base de les peces es separi de la base de la impressora, provocant que la peça sofreixi alguna malformació. Aquest fenomen succeeix per la contracció que sofreixen els materials al refredar-se. Per això és important tenir un bon mètode d'adherència. Actualment hi ha diferents mètodes per aconseguir-ho com per exemple pegament de barra, bases d'impressió d'usar i llençar (el material es fon amb aquestes bases), adhesiu específic per a impressió 3D, entre d'altres mètodes.

En primer lloc s'ha polvoritzat una laca sobre el llit de la impressió. S'ha polvoritzat una quantitat substancial, degut que la peça ocupa gran superfície de la placa. En la Figura 4.14 es pot observar el procés de construcció de la consola de comandament amb la impressora Sigma.

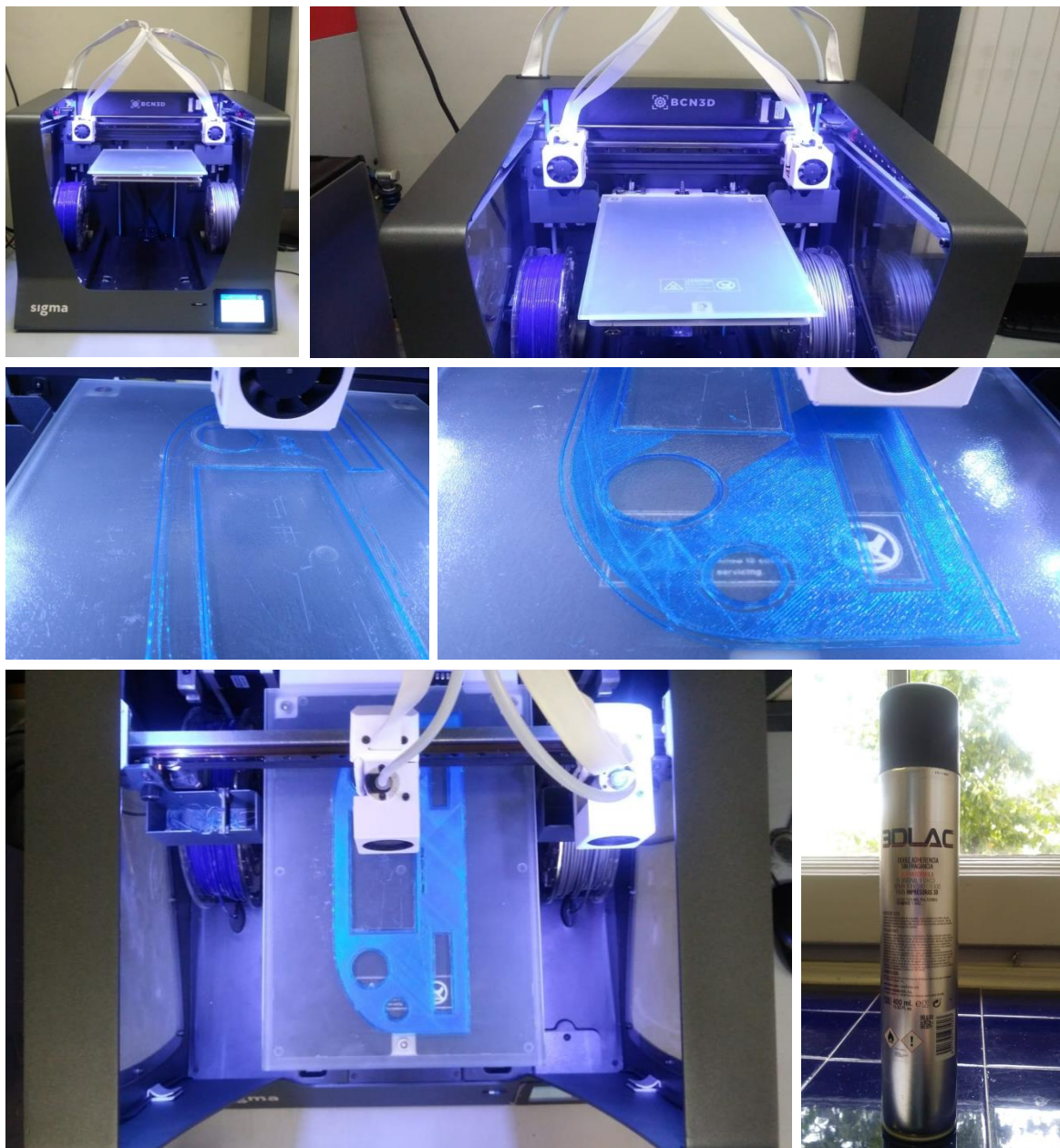


Figura 4.14: Procés de construcció de la consola de comandament. Font pròpia

4.7. Retirada i neteja de l'objecte construït

Finalitzada la secció a escala de la consola de comandament cal extreure l'objecte construït amb seguretat. En la Figura 4.15 es mostra l'extracció de la peça del llit de la impressora mitjançant una espàtula.



*Figura 4.15: Extracció de la peça construïda amb la impressora Sigma.
Font pròpia.*

4.8. Post processament

Una vegada s'ha realitzat la extracció, es duu a terme el post processament adequat per a la peça confeccionada. En aquest cas, és important polir l'acabat superficial, per això es fa una neteja de la peça i un eliminació dels sobrants. Es pot observar en la Figura 4.16 que al voltant del perímetre de la peça es crea una petita capa que serveix per facilitar la extracció sense fer-la malbé.

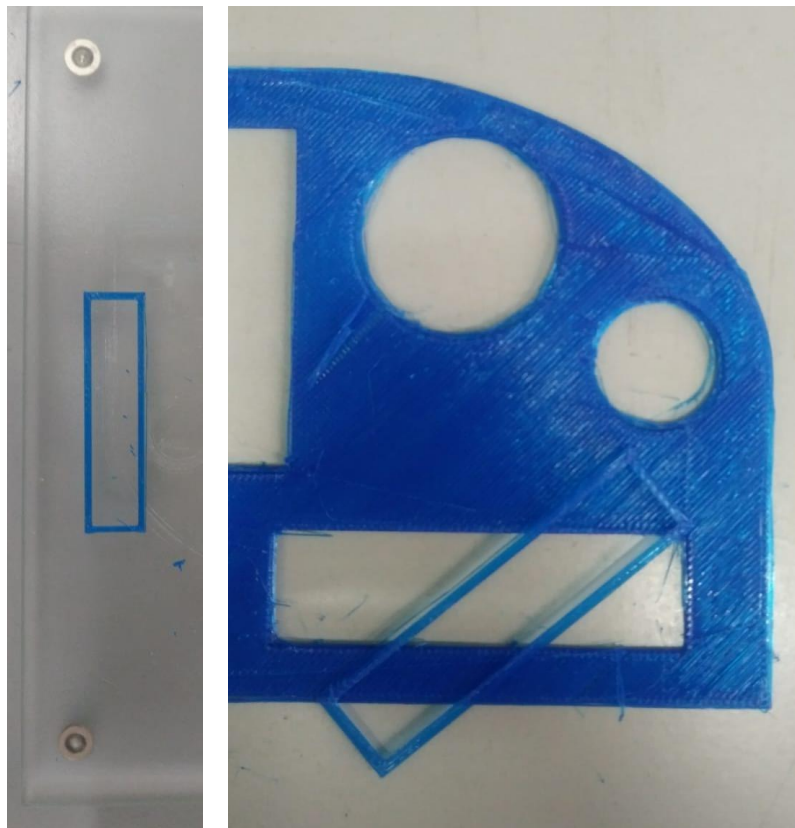


Figura 4.16: Postprocessament de la peça construïda. Font pròpia

4.9. Aplicació de la consola de comandament

La peça confeccionada, com s'ha anat veient al llarg del procés, es tracta de la versió a escala d'una secció de la consola de comandament. Així doncs, aquesta peça pròpiament no té una aplicació directa. No obstant, sí que té una funcionalitat, que és observar la viabilitat de fer aquest procés de disseny i construcció del taulell.

Amb la confecció de la consola de comandament amb tecnologia de fabricació additiva FDM, s'evita la realització de motlles. A més a més, els motlles solen ser únics per a cada embarcació, per tant, resulta un benefici no haver de realitzar diferents motlles.

En cas que es realitzin els dissenys amb un programa paramètric, es poden reaprofitar més fàcilment dissenys anteriors. Emprar aquesta tecnologia també presenta un avantatge pel que fa a la optimització de recursos i reaprofitament dels que es disposen.

4.10. Consideracions finals

Finalment, en aquesta part del projecte es mostra el resultat de la peça confeccionada, tant les proves favorables com les desfavorables. Durant la construcció de la peça s'han presentat alguns inconvenients. La primera impressió que s'ha realitzat no ha estat exitosa, ja que no s'han format els espais dissenyats, tal com es pot observar en la Figura 4.17.



Figura 4.17: Primera impressió del panell. Font pròpia

Això es deu a què en el disseny, hi havia dues superfícies que intersecaven, de forma que el programa, tot i mostrar el panell amb els buits dissenyats, ho llegia com una superfície plana. Un cop s'ha descobert la problemàtica, s'ha procedit a un segon intent.

El segon intent realitzat es mostra en la Figura 4.18. En aquest intent, la peça ha començat a imprimir-se correctament. A 50% de la impressió, l'extrusor ha deixat de depositar filament de forma regular i ha anat deixant petites gotes de filament creant una capa no plana.

Tot i que el segon intent no hagi estat exitós a nivell d'aplicació, s'ha pogut observar la precisió d'impressió.

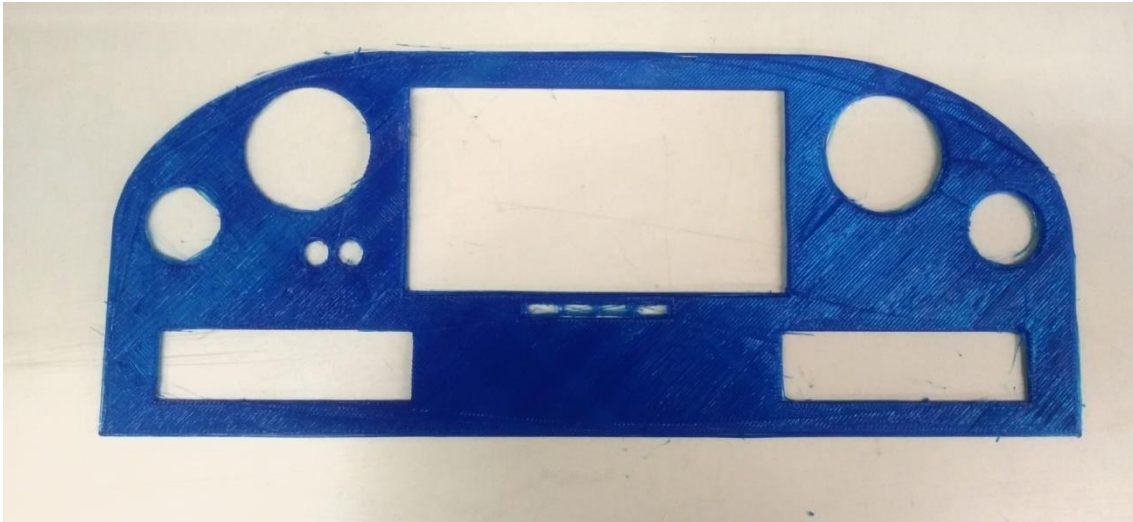


Figura 4.18: Segona impressió del panell. Font pròpia

Per últim s'ha realitzat una tercera impressió del panell. En les proves anteriors no s'havien definit correctament uns paràmetres de capa i del format .stl i en aquesta s'han pogut indicar, donant com a producte final el panell que s'observa en la Figura 4.19.

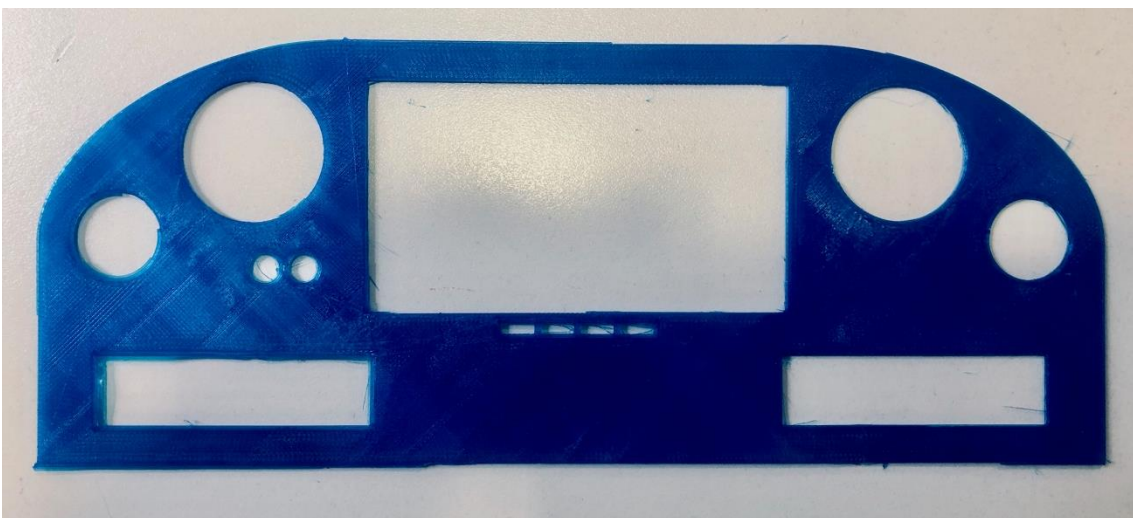


Figura 4.19: Tercera impressió del panell. Font pròpia

Si bé es cert que s'ha realitzat un prototip a escala, es pot suposar que es podria confeccionar el mateix disseny a escala 1:1. A més a més, els disseny a petita escala demana una precisió major que és més difícil d'aconseguir. En augmentar la realitat, es pot aconseguir una major precisió del disseny CAD.

Un altre aspecte a tenir en compte en cas de fer la peça a escala 1:1 és que s'haurien de dissenyar elements d'unió entre les peces que conformarien el taulell, ja que probablement, no podria ser d'una sola peça. Aquests elements d'unió podrien ser unes juntes en forma "T".

El disseny i elaboració d'una peça per a un vaixell utilitzant la tecnologia 3D és tot un repte. Però el que ara es vol aportar és l'experiència fruit d'aquesta primera impressió d'un projecte propi. Així com s'ha concretat un protocol per a la decisió sobre la pertinència de la fabricació d'un peça de vaixell amb impressió 3D, també s'ha de tenir un protocol per a la seva impressió. En aquest protocol cal considerar la forma en què es poden detectar possibles errors minimitzant els costos, les característiques i prestacions que ha de tenir la màquina d'impressió i la previsió d'alternatives en cas d'alguna limitació relativa a la màquina (usos prioritaris que l'ocupen, avaria, resultats inapropiats...) o al material d'impressió (material defectuós, insuficient...). Cal tenir prevista sempre una solució alternativa a problemes que poden sorgir.

En tot cas, una conclusió important és que cal tenir disponibilitat de temps per a poder solucionar amb la major rapidesa possible, els imprevistos que poden anar sortint.



CAPÍTOL 5: CONCLUSIONS

5. CONCLUSIONS

El projecte d'estudi de la implementació de la fabricació additiva en la indústria naval ha contemplat el desenvolupament diferents projectes en un sol. Cada un d'aquests sub-projectes ha estat relacionat amb els objectius marcats a l'inici del treball i a continuació s'exposa la conclusió de cada un d'ells.

- L'estudi de la tecnologia de fabricació additiva ha implicat un major coneixement d'aspectes relacionats amb la tipologies de màquines d'impressió 3D. Les tecnologies de fabricació additiva estan, majoritàriament, en fase d'investigació. Aquest fet, ha dificultat la homogeneïtat d'idees i conceptes, així com la homologació d'un protocol o procediment de treball. No obstant això, s'ha realitzat una recopilació substancial de gran part de publicacions relacionades amb aquest àmbit. De cada una de les tecnologies s'ha aconseguit un coneixement profund dels diferents sub processos, la precisió dimensional, materials aptes, beneficis i limitacions de cada un d'ells. A partir d'aquest estudi s'ha pogut determinar quin procés és més útil per diferents requisits com la funcionalitat (flexibilitat, tolerància a la formació, tenacitat, resistència a la calor) o la aparença (acabat superficial, transparència, textura o color).

De forma genèrica, s'han observat diferents beneficis que comporta la fabricació additiva.

- Rapidesa en la fabricació d'una peça des del moment en què queda definit el disseny fins a la seva finalització, el que permet disposar de la peça de forma pràcticament immediata
- Versatilitat en la construcció de peces, ja que la complexitat de la peça no comporta limitacions. De la mateixa manera, es poden disposar de peces personalitzades, no així en la construcció tradicional.
- Resposta ràpida (quick response) a les demandes del mercat o del client i reducció dels temps de construcció.
- Reducció de costos: pel cost inferior de les peces i pel menor temps de construcció
- Reducció del pes de l'embarcació el que comporta un augment de la carga útil
- El procés de fabricació resulta més eficient que en la forma convencional, ja que la construcció de la peça en fabricació additiva és en un sol pas.
- Un error en el disseny o en la fabricació d'una peça en fabricació additiva no suposa la mateixa quantitat de pèrdues que en la forma tradicional. I la

- introducció de les modificacions necessàries és més senzilla, ràpida i econòmica.
- En la fabricació additiva no es requereix de personal altament qualificat en tots els processos de construcció.
 - La impressió 3D resulta una tecnologia cada cop més propera a la indústria.
- A partir de l'estudi previ, s'ha aconseguit determinar les tecnologies de principal interès, principalment per a la indústria naval. Aquestes tecnologies han estat la fusió de llit de pols, la deposició d'energia dirigida i l'extrusió de material, principalment. En segon lloc les més interessants han estat la injecció de material, la injecció d'aglutinant i la laminació de xapes. Per últim, la fotopolimerització de cubeta ha estat considerada com no adient per a aplicacions al sector de la construcció naval, principalment per la limitació de materials. De totes aquestes tecnologies la que es troba més adient és l'extrusió de material (ME), concretament l'anomenat procés de modelat per deposició fosa (FDM).
- Dins del marc de la indústria naval hi ha moltes normatives que regulen la construcció d'embarcacions. Les normatives regulen propietats generals, mecàniques, tèrmiques, de processament, d'absorció, de permeabilitat, d'inflamabilitat, de durabilitat en fluids i raigs UV, entre d'altres aspectes. Concretament s'ha investigat la norma UNE EN ISO 12215, la qual fa referència a materials emprats en la construcció de petites embarcacions; el Codi FTP el qual és d'aplicació de procediments de prova d'incendis; i la societat de classificació RINA. Però tot i aquestes regulacions, cap indica com procedir a la fabricació additiva en la indústria naval, ans bé regulen donant marge al mètode de construcció mentre es compleixi la norma.
- Tot i que Lloyd's Register i Bureau Veritas han participat en la implementació d'elements a la indústria naval en fabricació additiva, l'única regulació que s'ha trobat referent a aquest àmbit ha estat de DNV-GL. Aquesta societat de classificació va crear la primera guia de classe per a productes confeccionats mitjançant fabricació additiva. En aquesta guia es fa un estudi de les diferents tecnologies AM, comparant-ho amb altres processos. També indica el principal procés a seguir per poder classificar un vaixell que ha emprat aquesta tecnologia, oferint al final un llistat de mètodes per a valorar la fiabilitat de l'element confeccionat.

Així doncs, es veu una societat de classificació que indica els passos per dur a terme la classificació d'un element AM. Però, s'ha observat que no s'explicita com emprar aquesta tecnologia, quins requisits han de complir les peces o quines dificultats pot presentar per classificar la peça construïda. Això es deu a que s'ha d'estudiar amb deteniment cada una de les peces, no es pot generalitzar. Per això, s'ha procedit a estudiar la normativa pròpia de 5 elements a fi de veure de forma més individualitzada si es pot regular la construcció i s'ha observat que en focalitzar l'estudi és més senzill determinar el procés necessari a emprar, el material i els beneficis que comporta.

- Amb la disposició de les drassanes Astilleros Nicolau, s'ha pogut determinar un seguit d'elements susceptibles a ser impresos. S'han estudiat 186 elements d'una embarcació de pesca d'arrossegament. D'aquests, 75 han mostrat ser susceptibles a ser impresos, el que correspon a un 40% d'elements de l'embarcació. En el llistat d'elements no s'han tingut en compte grans estructures com el casc, peces estructurals com mampares, o grans elements compostos com el motor. No obstant això, s'ha observat que un 40% és una dada a considerar. S'hauria de profunditzar amb més detall quina seria la reducció de pes d'aquests 75 elements, però estudiar al detall tots aquests elements s'escapa de la dimensió del present treball. Tot i això, es pot arribar a deduir que la reducció de pes d'aquests elements també seria considerable, ja que en l'estudi dels 5 elements, s'ha corroborat una reducció del 80% del pes.
- Un cop s'han estudiat al detall els 5 elements seleccionats de l'embarcació de pesca d'arrossegament, s'ha observat que la reducció de cost és significativa, mentre que la del pes és bastant més llaminera. Aquests dos aspectes es consideren beneficiosos tant per a l'embarcació com per a la drassana Astilleros Nicolau. La reducció de pes és beneficiosa en una embarcació. Pel que fa a l'obra morta, una reducció comporta la millora de la estabilitat i un augment de l'autonomia. Mentre que una reducció a l'obra viva, implica un augment de capacitat de combustible i per tant d'autonomia, una major capacitat de càrrega, i evita la corrosió, entre d'altres aspectes.
- Per últim, després de les diferents proves de càlcul de costos i aproximacions a la drassana, s'ha pogut lliurar un document amb el procés a seguir per tal de saber determinar el

material apte per a cada element amb les característiques pròpies de la impressora Discovery 3D Printer.

A més a més de les conclusions que responen als objectius proposats, altres conclusions a les quals s'ha arribat són les següents.

- La tecnologia de fabricació additiva, enfront a les tècniques convencionals, implica un avenç significatiu en relació al temps de processament, densitat obtinguda i geometria desitjada. Però cal destacar que aquest és encara una tecnologia en desenvolupament que anirà millorant les propietats de les peces construïdes.
- Sense ser competència pròpia de la titulació, s'han après, assimilat i familiaritzat els procediments de impressió 3D. Aquests procediments han ofert una millora en la capacitat de síntesi i anàlisi i una ampliació en l'àmbit dels materials, una línia d'investigació actual i important en aquest sector.

La realització d'aquest treball ha estat possible, en part, gràcies al plantejament i a la resolució de dubtes i problemàtiques que s'han anat presentant durant el procés i que, finalment, han desembocat en una sèrie de decisions de millora. En concret, la dificultat de no disposar de tota la informació tècnica de l'embarcació en construcció ha possibilitat la creació de dissenys propis per a la nova embarcació, els quals es troben en fase d'aprovació. Amb aquesta experiència, s'ha après que una dificultat, o el fet de no obtenir el resultat esperat en la investigació, no és una decepció ni ha de deixar la idea d'haver invertit el temps de forma vana, sinó que és una oportunitat per a la imaginació i per al treball a fi d'oferir una nova resposta que encara no s'havia proposat.



CAPÍTOL 6: CONTINUÏTAT DE PROJECTE

6. CONTINUÏTAT DE PROJECTE

De forma genèrica, l'estudi d'aquest treball s'ha volgut centrar en la implementació de la fabricació additiva en la indústria naval. S'ha pogut veure beneficis, limitacions i aplicabilitat viable d'aquesta tecnologia.

Al llarg d'aquest treball final de grau, s'han presentat algunes vies d'investigació, que per manca de temps no s'han pogut estudiar de forma detallada. En aquest apartat es pretén fer esment d'aquest recull, oferint nous camps d'estudi en el sector naval.

En primer lloc, com a continuïtat directe d'aquest treball, es pot realitzar un estudi més exhaustiu de totes les peces que es poden fabricar amb impressió 3D. És a dir, a partir del llistat mostrat, estudiar amb més detall i criteris quins elements són aptes, amb quins materials caldria fer la construcció d'aquests, quina tecnologia emprar, normativa que aplica... Un cop fet això, es pot fer una comparativa de la reducció de pes de tota l'embarcació. D'aquesta manera, es podria palpar amb més detall el benefici d'aquesta tecnologia.

La reducció del pes en el sector naval és una de les principals línies d'investigació i inversió degut als beneficis econòmics que suposa, la reducció de la contaminació emesa, l'augment de capacitat de càrrega i d'autonomia. Així doncs, una de les vies d'estudi que pot portar un important avenç fa referència la possibilitat de substituir peces massisses d'acer i d'alumini, principalment per peces poroses amb fabricació additiva que suposa una reducció del pes. L'ús de peces més lleugeres, a més de reduir considerablement la pes de l'embarcació, implica una reducció de les propietats mecàniques. És aquí on té cabuda l'anàlisi exhaustiu de les diferents peces amb possibilitat de substitució, oferint al mateix temps, una comparativa econòmica i mecànica entre les peces massisses i les peces sinteritzades.

En segon lloc, cal esmentar que actualment, els processos de fabricació additiva no estan sent emprats de forma generalitzada pel sector naval, degut a la rigidesa i rigor de la normativa vigent, especialment aquella relacionada amb la fiabilitat mecànica, tèrmica, estructural,... dels diferents elements que componen una embarcació. Avui en dia, certes peces estan fabricades amb aquesta tecnologia, però segueixen sent petites peces a petita escala i que no ofereixen funcionalitat estructural principal o de primer ordre. Així doncs, s'obren dues vies d'estudi en aquest aspecte.

- Per una banda, l'estudi de nova normativa, la qual inclogui processos com l'ús de tecnologia de fabricació additiva.
- Per altra banda, l'estudi de peces estructurals. En aquest sentit, es podria conformar alguna peça estructural i estudiar-ne el comportament complert, tant amb alguna eina de simulació numèrica, com amb assajos destructius i no destructius.

Si bé les peces estructurals no són el puc fort de la fabricació additiva, aquest tecnologia presenta una gran fiabilitat en referència a la durabilitat i velocitat de producció que es podria assolir, en pocs anys.

En tercer lloc, s'ha observat la importància de l'estudi de materials. Hi ha materials com el PEI (Ultem) que presenten excel·lents propietats, però el seu cost resulta excessivament elevat. Per això és interessant estudiar materials aptes per a la fabricació additiva que tinguin un cost econòmic per a la construcció naval.

En quart lloc, es podrien realitzar assajos destructius i no destructius per mostrar la viabilitat d'elles peces. Alguns dels assajos podrien ser la resistència a la salinitat, estanqueïtat, radiació UV, entre d'altres.

Per últim, també seria interessant profunditzar en l'aplicació de peces metàl·liques, aspecte que aquest treball no s'ha centrat tant. Així doncs també s'obren noves línies d'actuació, tecnologies com el sinteritzat per resistència elèctrica per treballar amb peces metàl·liques, també necessàries en la indústria naval.



BIBLIOGRAFIA

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] R. Gault y D. T. Pham, «A comparison of rapid prototyping technologies», *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 38, n.º 10-11, pp. 1257-1287, 1998.
- [2] M. Berchon y Y. B. Luyt, «La impresión 3D», 2014.
- [3] S. Mkhemer, S. Makhool, y Q. Samara, «3D Printing Technology», Faculty of Engineering and Technology, 2015.
- [4] M. Porras Rodríguez, «Análisis técnico-económico de técnicas de Fabricación aditiva para aplicación en diferentes sectores industriales», Universidad Pontificia Comillas de Madrid, 2012.
- [5] «Comité F42 sobre Tecnologías de Fabricación Aditiva». [En línea]. Disponible en: <https://www.astm.org/COMMITTEE/F42.htm>. [Accedido: 10-mar-2019].
- [6] I. Gibson, D. Rosen, y B. Stucker, «Additive manufacturing technologies. [electronic book]: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing.», n.º 3, pp. 193-198, 2010.
- [7] F. M. Acevedo Vallejo, «Estudio sobre la aplicación de las tecnologías de fabricación aditiva al sector aeronáutico y espacial. Impresión 3D», 2016.
- [8] «NAVANTIA Puerto Real: Fabricación aditiva. Instalación de rejillas de ventilación en SUEZMAX - YouTube». [En línea]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=Ku2RIIx4cGs>. [Accedido: 10-mar-2019].
- [9] E. A. T. Barahona, J. X. L. Medina, y E. T. Díaz, «Sistema de posicionamiento aplicado a la técnica de impresión 3D modelado por deposición fundida», *Rev. Investig. Desarro. E Innovación*, vol. 3, n.º 1, pp. 25-32, 2012.
- [10] «CAD/CAM | Diseño y fabricación asistidos por ordenador | Autodesk». [En línea]. Disponible en: <https://www.autodesk.es/solutions/cad-cam>. [Accedido: 10-mar-2019].
- [11] J. Angeles, «Fundamentals of Robotic Mechanical Systems: Theory, Methods, and Algorithms, Second Edition», 2003.
- [12] ASTM, «La nueva especificación de fabricación aditiva de ASTM responde a la necesidad de un formato de archivo de intercambio estándar | www.astm.org», 2011. [En línea]. Disponible en: <https://www.astm.org/cms/drupal-7.51/newsroom/new-astm-additive-manufacturing-specification-answers-need-standard-interchange-file-format>. [Accedido: 11-mar-2019].
- [13] E. A. Torres, J. León, y E. Torres, «Impresora 3D Aplicando La Técnica De Deposición Fundida», n.º February, 2017.
- [14] J. Fontrodona, F. Raül, y B. Díaz, «Artículos de economía industrial», 2014.
- [15] «Impression 3d by Groupe Eyrolles - issuu». [En línea]. Disponible en: https://issuu.com/eyrolles/docs/impression_3d_extrait. [Accedido: 10-mar-2019].

- [16] C. Ferrero Ibáñez, «Aplicación del modelado digital y la impresión 3D en el proceso de elaboración de props y figuras coleccionables», Facultat de Belles Arts de Sant Carles, 2017.
- [17] P. Shah, R. Racasan, y P. Bills, «Comparison of different additive manufacturing methods using computed tomography», *Case Stud. Nondestruct. Test. Eval.*, vol. 6, pp. 69-78, nov. 2016.
- [18] S. Filippi y D. Barattin, «Classification and Selection of Prototyping Activities for Interaction Design», 1998. [En línea]. Disponible en: [https://www.scirp.org/\(S\(lz5mqp453edsnp55rrgjt55\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=506239](https://www.scirp.org/(S(lz5mqp453edsnp55rrgjt55))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=506239). [Accedido: 17-mar-2019].
- [19] S. Filippi y D. Barattin, «Classification and Selection of Prototyping Activities for Interaction Design», *Intell. Inf. Manag.*, vol. 04, n.º 04, pp. 147-156, 2012.
- [20] «Parts d'una impressora 3d - IMPRESSORES 3D». [En línea]. Disponible en: <http://www.impressores3d.cat/impressores-3d/parts-d-una-impressora-3d>. [Accedido: 17-mar-2019].
- [21] SPRI, Diputació Foral de Gipuzcoa, y Gobierno Vasco, «Introducción a la Fabricación Aditiva». 2018.
- [22] «Tecnologías de fabricación híbridas - Inicio». [En línea]. Disponible en: <http://www.hybridmanutech.com/>. [Accedido: 17-mar-2019].
- [23] F. Scholar, «Additive Manufacturing Technologies : What if anyone could make almost anything they need , anywhere ?», *Addit. Manuf.*, 1000.
- [24] J. Jones, «7 Families of Additive Manufacturing. A quick reference guide», vol. 15, 2018.
- [25] S. Romero Fuentes, «Estudio comparativo de los métodos de fabricación aditiva para el titanio y sus aleaciones», vol. 2017, n.º pla 94, p. 57, 2017.
- [26] «Resultados de la Búsqueda de imágenes de Google de <http://www.ceramaker.com/wp-content/uploads/2014/09/3DCeram-Ceramaker-Imprimante3D-schema-stereolithographie3D.png>». [En línea]. Disponible en: <https://www.google.com/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fwww.ceramaker.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2014%2F09%2F3DCeram-Ceramaker-Imprimante3D-schema-stereolithographie3D.png&imgrefurl=http%3A%2F%2Fwww.ceramaker.com%2Figne-impression-3d%2Fimprimantes-3d%2F%3Flan>. [Accedido: 20-mar-2019].
- [27] «Resultados de la Búsqueda de imágenes de Google de http://4.bp.blogspot.com/-WEnBLn6_Mts/VgV2geJo_yI/AAAAAAAAAho/4H_vjadf0wl/s1600/2%25286%2529.jpg». [En línea]. Disponible en: https://www.google.com/imgres?imgurl=http%3A%2F%2F4.bp.blogspot.com%2F-WEnBLn6_Mts%2FVgV2geJo_yI%2FAAAAAAAAAAho%2F4H_vjadf0wl%2Fs1600%2F2%25286%2529.jpg&imgrefurl=http%3A%2F%2Favancetecnologicoginna.blogspot.com%2F2015%2F&docid=tBWNMKLnLi607M&tbnid=q18. [Accedido: 20-mar-2019].
- [28] «Esquema del proceso de fusión de lecho en polvo (PBF) 5 | Descargar Scientific Diagram». [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-the-Powder-Bed-Fusion-PBF-process-5_fig1_320943125. [Accedido: 20-mar-2019].

- [29] «Fusión selectiva por láser». [En línea]. Disponible en: <https://kitchendecor.club/files/selective-laser-melting.html>. [Accedido: 20-mar-2019].
- [30] «Tecnología de impresión 3D Binder Jetting». [En línea]. Disponible en: <https://www.threeding.com/blog/binder-jetting-3d-printing-technology>. [Accedido: 21-mar-2019].
- [31] «Binder Jetting Metal Technology para impresión 3D». [En línea]. Disponible en: <https://www.sculpteo.com/en/materials/binder-jetting-material/>. [Accedido: 21-mar-2019].
- [32] J. Gardan, «Additive Manufacturing Technologies: State of the Art and Trends», pp. 1-15, 2015.
- [33] «Schematic representation of the material jetting process. | Download Scientific Diagram». [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/figure/Schematic-representation-of-the-material-jetting-process_fig3_325876280. [Accedido: 21-mar-2019].
- [34] «Sheet Lamination | addmantech». [En línea]. Disponible en: <https://addmantech.wordpress.com/2016/01/07/sheet-lamination/>. [Accedido: 23-mar-2019].
- [35] S. Waheed *et al.*, «3D printed microfluidic devices: enablers and barriers», *Lab Chip*, vol. 16, n.º 11, pp. 1993-2013, may 2016.
- [36] 3D HUBS, «Additive Manufacturing Technologies: An Overview». [En línea]. Disponible en: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/additive-manufacturing-technologies-overview#material-extrusion>. [Accedido: 24-mar-2019].
- [37] Universidad politécnica de Madrid, «Pfc_Irene_Gil_Gil», 2015.
- [38] «Directed energy deposition - DED, LENS, EBAM | Make». [En línea]. Disponible en: <https://make.3dexperience.3ds.com/processes/directed-energy-deposition>. [Accedido: 24-mar-2019].
- [39] J. P. Kruth, M. C. Leu, y T. Nakagawa, «Progress in additive manufacturing and rapid prototyping», *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 47, n.º 2, pp. 525-540, 1998.
- [40] «What is 3D printing? The definitive guide | 3D Hubs». [En línea]. Disponible en: <https://www.3dhubs.com/guides/3d-printing/>. [Accedido: 17-mar-2019].
- [41] AT Kearney Korea LLC, «3D Printing: A Manufacturing Revolution», 2015.
- [42] Fundación Cotec, *Fabricación Aditiva*. 2011.
- [43] «10 Advantages of 3D Printing - 3D Insider». [En línea]. Disponible en: <https://3dinsider.com/3d-printing-advantages/>. [Accedido: 31-mar-2019].
- [44] I. D. M. Group, «Las ventas de impresoras 3D crecerán un 39% en 2017 | En cifras | IT Reseller».
- [45] «El mercado global de impresoras 3D crecerá hasta un 42% los próximos 5 años - Impresión 3D - Fabricación aditiva». [En línea]. Disponible en:

- <http://www.interempresas.net/Fabricacion-aditiva/Articulos/186151-El-mercado-global-de-impresoras-3D-crecera-hasta-un-42-por-ciento-los-proximos-5-anos.html>. [Accedido: 31-mar-2019].
- [46] I. D. M. Group, «El mercado de impresoras 3D profesionales crece un 40% | En cifras | IT Reseller».
- [47] I. D. M. Group, «Las ventas de impresoras 3D industriales crecen un 22% | Noticias y Actualidad | Impresión Digital».
- [48] «12 de impresoras 3D con gran volumen de impresión (FFF) - 3Dnatives». [En línea]. Disponible en: <https://www.3dnatives.com/es/top-10-impresoras-fdm-volumen-de-impresion-21092016/>. [Accedido: 31-mar-2019].
- [49] JCR Smart 3D Printer, «JCR 1000 Single». .
- [50] B. Redwood, Ben; Schöffner, Filemon; Garret, *The 3D Printing Handbook. Technologies, design and applications*, 3D Hubs. Amsterdam, 2017.
- [51] «Tecnologías de fabricación aditiva: una visión general | Concentradores 3D». [En línea]. Disponible en: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/additive-manufacturing-technologies-overview#vat-photopolymerization>. [Accedido: 20-abr-2019].
- [52] «How Stereolithography (SLA) works - GE Additive». [En línea]. Disponible en: <https://www.ge.com/additive/additive-manufacturing/information/stereolithography-technology>. [Accedido: 25-abr-2019].
- [53] «Introducción a la impresión 3D SLA | Concentradores 3D». [En línea]. Disponible en: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-sla-3d-printing>. [Accedido: 25-abr-2019].
- [54] F. Sillani, R. G. Kleijnen, M. Vetterli, M. Schmid, y K. Wegener, «Selective laser sintering and multi jet fusion: Process-induced modification of the raw materials and analyses of parts performance», *Addit. Manuf.*, vol. 27, n.º January, pp. 32-41, 2019.
- [55] «How powder bed fusion works | Additive GE». [En línea]. Disponible en: <https://www.ge.com/additive/additive-manufacturing/information/powder-bed-fusion>. [Accedido: 25-abr-2019].
- [56] «How to design parts for Metal 3D printing | 3D HUBS». [En línea]. Disponible en: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/how-design-parts-metal-3d-printing#material>. [Accedido: 26-abr-2019].
- [57] Universidad de Cádiz, «ESPECIFICACIONES EQUIPOS. Servicio Tecnológico de Fabricación Aditiva».
- [58] «Introduction to Material Jetting 3D Printing | 3D HUBS». [En línea]. Disponible en: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-material-jetting-3d-printing>. [Accedido: 26-abr-2019].
- [59] «3Dlink | Blog | Nanoparticle Jetting NPJ». [En línea]. Disponible en: <https://3dlink.me/2018/04/nanoparticle-jetting-npj/>. [Accedido: 04-may-2019].

- [60] «Sheet Lamination (SL) | 3DPrinting.Lighting». [En línia]. Disponible en: <http://www.3dprinting.lighting/3d-printing-technologies/sheet-lamination/>. [Accedido: 28-abr-2019].
- [61] «Sheet Lamination | Additive Manufacturing Research Group | Loughborough University». [En línia]. Disponible en: <https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/sheetlamination/>. [Accedido: 28-abr-2019].
- [62] «How Does It work?»
- [63] «Tecnologías de impresión 3D (VI): Laminación de hojas | HXX». [En línia]. Disponible en: <http://hxx.es/2015/02/06/tecnologias-de-impresion-3d-vi-laminacion-de-hojas/>. [Accedido: 29-abr-2019].
- [64] J. Hiemenz, «LA IMPRESION 3D CON FDM: ¿Cómo funciona? Stratasys, Inc.», *Pixel Sist.*, 2014.
- [65] «FILAMENTO 3D ABS FLAME RETARDANT». [En línia]. Disponible en: <https://www.3dcpi.com/es/filamento3d-pla-abs/abs/filamento-3d-abs-flame-retardant.html>. [Accedido: 04-may-2019].
- [66] «ABS H.I. (Alto impacto) | Filament2Print». [En línia]. Disponible en: <https://filament2print.com/es/abs-especiales/738-abs-hi-alto-impacto.html>. [Accedido: 04-may-2019].
- [67] JCR Smart 3D Printer, «JCR 600 - JCR3D Smart Printer».
- [68] «Professional 3D printing made accessible | Ultimaker». [En línia]. Disponible en: <https://ultimaker.com/>. [Accedido: 04-may-2019].
- [69] «Additive Manufacturing Technologies: An Overview | Direct Energy Deposition | 3D Hubs». [En línia]. Disponible en: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/additive-manufacturing-technologies-overview#direct-energy-deposition>. [Accedido: 29-abr-2019].
- [70] RPM Innovations Inc., «LASER DEPOSITION TECHNOLOGY OVERVIEW». [En línia]. Disponible en: <http://www.rpm-innovations.com/laser-deposition-technology-overview>. [Accedido: 29-abr-2019].
- [71] I. RPM Innovations, «Laser Deposition Technology (LDT) - YouTube». [En línia]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=d2foaRi4nxM>. [Accedido: 29-abr-2019].
- [72] «Real objects printed on 3d printer HD video. Different objects and products produced on three dimensional printer. Additive manufacturing technology Stock Video Footage - Storyblocks Video». [En línia]. Disponible en: <https://www.videoblocks.com/video/real-objects-printed-on-3d-printer-hd-video-different-objects-and-products-produced-on-three-dimensional-printer-additive-manufacturing-technology-burq2rxvxiwqm5umj>. [Accedido: 29-abr-2019].
- [73] «Brushed Metal Substance Material (S0089)». [En línia]. Disponible en: <https://www.textures.com/download/substance0089/129686>. [Accedido: 29-abr-2019].

2019].

- [74] «KAHBrothers, Honeycomb Structure». [En línia]. Disponible en: <http://www.kahbrothers.com/ahp.html>. [Accedido: 29-abr-2019].
- [75] F. S. & B. G. Ben Redwood, «the 3D Printing Handbook», 2017.
- [76] M. Fuentes, «Estudio de los riesgos para la salud asociados a la construcción naval con acero y aluminio», 2017.
- [77] A. León, «Apuntes Construcción Naval; Presentación 05: Sociedades de Clasificación». 2018.
- [78] V. Casal Lopez, «Tecnologías de Fabricación Aditiva: imprimiendo el barco del futuro», *Navantia*, 2019.
- [79] Revista del Sector marítimo, «BUREAU VERITAS CLASIFICA LA PRIMERA HÉLICE A ESCALA REAL IMPRESA EN 3D». 2017.
- [80] DNV GL, «Additive manufacturing -qualification and certification process for materials and components», n.º November, pp. 1-48, 2017.
- [81] Asociación Española de Normalización, «UNE-EN ISO 12215-3:2019». 2019.
- [82] Bureau Veritas, «Hull Arrangement, Stability and Systems for Ships less than 500 GT», vol. NR 566 DT.
- [83] Bureau Veritas, «Rules for the Classification of Steel Ships», vol. 467, n.º Part C-Machinery, Electricity, Automation and Fire Protection.
- [84] RINA, «Fire Containment», Sect. 3, vol. Pt C, Ch 4, n.º 11, pp. 129-133, 2008.
- [85] OMI, «INTERNATIONAL CODE FOR APPLICATION OF FIRE TEST PROCEDURES, 2010», vol. 307, n.º December. p. 210, 2010.
- [86] «Astilleros Nicolau » Pasado, presente, futuro». [En línia]. Disponible en: <http://astilleros-nicolau.com/pasado-presente-futuro.aspx>. [Accedido: 18-may-2019].
- [87] M. Nicolau, «Entrevista personal a les drassanes Nicolau a Miquel Nicolau». 2019.
- [88] CNC Barcenas, «Discovery 3D Printer». [En línia]. Disponible en: <http://discovery3dprinter.com/es/discovery-3d-printer/>.
- [89] AZIMUT Marine, «Toma agua de mar de latón - 1/2"». [En línia]. Disponible en: <https://www.azimutmarine.es/tienda-outlet/frio/aire-acondicionado/toma-agua-de-mar-de-laton-1-2.html>.
- [90] BlueMarinestore, «Pasacascos y Grifos de fondo». [En línia]. Disponible en: <https://www.bluemarinestore.com/bajo-cubierta/fontaneria-a-bordo/pasacascos-y-grifos-de-fondo/>.
- [91] Bavaria Yachts, «Virtess». [En línia]. Disponible en: <https://www.bavariayachts.com/fileadmin/media/global/service/downloads/brochures/motorboats/bavaria-service-downloads-brochures-mb-virtessline-virtess420-en.pdf>.


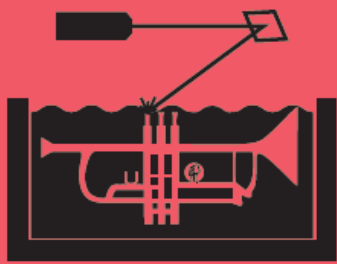
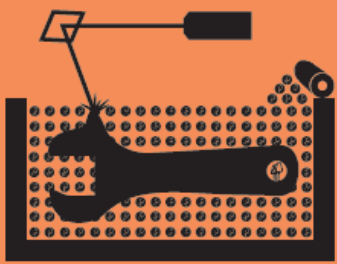


- [92] «PUENTE BARCO PESQUERO». [En línea]. Disponible en: <https://www.milanuncios.com/barcos-de-pesca/puente-barco-pesquero-287770119.htm>.
- [93] «Sea water pumps on a ship: Sea chest suction filter cleaning procedures and their importance». [En línea]. Disponible en: <https://www.brighthubengineering.com/marine-engines-machinery/41043-procedure-of-sw-pump-sea-chest-cleaning/>. [Accedido: 27-may-2019].
- [94] «Sea Chest and Seawater Pipework Protection - UltraSonic Antifouling Ltd». [En línea]. Disponible en: <http://www.ultrasonic-antifouling.com/products/sea-chest/>. [Accedido: 27-may-2019].
- [95] DNV GL, «DNV GL rules and standards». [En línea]. Disponible en: <https://rules.dnvgl.com/ServiceDocuments/dnvgl/#!/home>. [Accedido: 30-may-2019].
- [96] DNV GL, «RULES FOR CLASSIFICATION High speed and light craft», n.º December, 2015.
- [97] DNV GL, «RULES FOR CLASSIFICATION Ships. Part 4 Systems and components. Chapter 11 Fire safety», n.º July, 2015.
- [98] Asociación Española de Normalización. CTN 27, «UNE-EN ISO 9093-1:2019. Pequeñas embarcaciones. Grifos de fondo y pasacascos. Parte 1: Metálicos. (ISO 9093-1:1994)». Madrid (España), 2019.
- [99] Asociación Española de Normalización. CTN 27, «UNE-EN ISO 9093-2:2019. Pequeñas embarcaciones. Grifos de fondo y pasacascos. Parte 2: No metálicos.» 2019.
- [100] «REJILLA FONDO 150MM Ø - TIPO AVISPERO - Nauticlick». [En línea]. Disponible en: https://www.nauticlick.com/es/tomas-de-fondo-filtros-de-fondo-valvulas-y-racoreria/9031-rejilla-fondo-150mm-tipo-avispero.html?search_query=filtro+de+fondo&results=388. [Accedido: 28-may-2019].
- [101] «Grifo de fondo para refrigeración». [En línea]. Disponible en: <https://nauticasolymar.com/recambio/269-grifo-de-fondo.html>. [Accedido: 28-may-2019].
- [102] Nova Argonautica, «Rejilla de Bronce». [En línea]. Disponible en: <https://argonautica.es/ingesta-de-agua-de-mar-de-bronce-1-12?search=rejilla&description=true>.
- [103] «Materials | 3D Hubs». [En línea]. Disponible en: <https://www.3dhubs.com/material-index#?page=1&sortby=popularity&order=desc>. [Accedido: 02-jun-2019].
- [104] formfutura, «Novamid ID 1030», p. 2018, 2018.
- [105] «Tienda Nautica Especializada en Rejillas de Fondo». [En línea]. Disponible en: <https://www.nauticaglobal.es/rejillas-de-fondo>. [Accedido: 04-jun-2019].
- [106] «Pasacascos Nauticos con un 40% de descuento». [En línea]. Disponible en: <https://argonautica.es/equipamiento-nautico-agua-a-bordo/pasacascos-nauticos>. [Accedido: 04-jun-2019].

- [107] Nova Argonautica, «Pasacasos de bronce». [En línea]. Disponible en: <https://argonautica.es/estandar-de-descarga-de-bronce-1-12>.
- [108] Filament2Print, «Filamento de Nylon-Fibra de Carbono (CF15)». [En línea]. Disponible en: <https://filament2print.com/es/nylons/797-nylon-fibra-carbono-cf15.html%0A>.
- [109] Nova Argonautica, «Grifo de fondo». [En línea]. Disponible en: <https://argonautica.es/grifo-de-fondo-en-inoxidable-112?search=grifo de fondo&description=true>.
- [110] DNV GL, «Rules for Classification Ships. Part 4 Systems and components Chapter 9 Control and monitoring systems». .
- [111] EasyComposites, «POLYESTER LAMINATING RESIN», vol. 44, n.º 0, pp. 3-4, 2015.
- [112] Materials World, «Plancha fenólica». [En línea]. Disponible en: <https://www.mwmaterialsworld.com/es/plancha-de-contrachapado-nautico.html>.
- [113] SagristàProducts, «MAT300». [En línea]. Disponible en: <https://www.sagristaproducts.com/es/mats-vidrio/107-167-mat-300.html>.
- [114] VadeQuimica, «Resina de poliéster». [En línea]. Disponible en: https://www.vadequimica.com/resina-de-poliester.html?gclid=CjwKCAjwmNzoBRBOEiwAr2V27QgfX7KOTzQxNQa5fuUnSZ_8HbOrEB_VpucEw8bSBt3f9R58YEJoRoCXGUQAvD_BwE.
- [115] Filament2Print, «Timberfill Rosewood». [En línea]. Disponible en: <https://filament2print.com/es/madera-ceramico/764-timberfill-rosewood.html%0A>.
- [116] Castro Composites, «Aerosol de Barniz Acrílico Monocomponente con Resistencia UV». [En línea]. Disponible en: <https://www.castrocompositesshop.com/es/pinturas-barnices/2119-aerosol-de-barniz-acrilico-monocomponente-con-resistencia-uv.html>.
- [117] «WayPoint Gijón». [En línea]. Disponible en: http://www.waypointgijon.com/wabpoint_cp_042.htm.
- [118] «COLREG ANEXO 1». [En línea]. Disponible en: https://ecolregs.com/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=118&Itemid=499&lang=es.
- [119] Asociación Española de Normalización. CTN 27, «UNE-EN ISO 1864:2008: Embarcaciones de navegación interior. Casetade gobierno. Requisitos relativos a la ergonomía y la seguridad.» 2008.
- [120] BCN3D, «Manual de Usuario», 2012. [En línea]. Disponible en: https://forja.rediris.es/docman/view.php/27/237/User_Manual.pdf.
- [121] BCN3D, «Technical data sheet PLA», 2008. [En línea]. Disponible en: https://ultimaker.com/download/67934/TDS_PLA_v3.011.pdf.



ANNEXOS

ANNEX 1: Classificació segons el procés de les tecnologies de fabricació additiva

Quick Reference: 7 Families of Additive Manufacturing According to ISO/ASTM52900-15 (formerly ASTM F2792)			
			
			
VAT PHOTOPOLYMERIZATION	POWDER BED FUSION (PBF)	BINDER JETTING	MATERIAL JETTING
Alternative Names: SLA™ - Stereolithography Apparatus DLP™ - Digital Light Processing 3SP™ - Scan, Spin, and Selectively Photocure CLIP™ - Continuous Liquid Interface Production	Alternative Names: SLS™ - Selective Laser Sintering; DMILS™ - Direct Metal Laser Sintering; SLM™ - Selective Laser Melting; EBM™ - Electron Beam Melting; SHS™ - Selective Heat Sintering; MJF™ - Multi-Jet Fusion	Alternative Names: 3DP™ - 3D Printing ExOne Voxeljet	Alternative Names: Polyjet™ SCP™ - Smooth Curvatures Printing MJM - Multi-Jet Modeling Projet™
Description: A vat of liquid photopolymer resin is cured through selective exposure to light (via a laser or projector) which then initiates polymerization and converts the exposed areas to a solid part.	Description: Powdered materials is selectively consolidated by melting it together using a heat source such as a laser or electron beam. The unfused powder surrounding the consolidated part acts as a support material for overhanging features.	Description: Liquid bonding agents are selectively applied onto thin layers of powdered material to build up parts layer by layer. The binders include organic and inorganic materials. Metal or ceramic powdered parts are typically fired in a furnace after they are printed.	Description: Droplets of material are deposited layer by layer to make parts. Common varieties include jetting a photocurable resin and curing it with UV light, as well as jetting thermally molten materials that then solidify in ambient temperatures.
Strengths: <ul style="list-style-type: none"> • High level of accuracy and complexity • Smooth surface finish • Accommodates large build areas 	Strengths: <ul style="list-style-type: none"> • High level of complexity • Powder acts as support material • Wide range of materials 	Strengths: <ul style="list-style-type: none"> • Allows for full color printing • High productivity • Uses a wide range of materials 	Strengths: <ul style="list-style-type: none"> • High level of accuracy • Allows for full color parts • Enables multiple materials in a single part
Typical Materials UV-curable Photopolymer Resins (with various fillers)	Typical Materials Plastics, Metal and Ceramic Powders, and Sand	Typical Materials Powdered Plastic, Metal, Ceramics, Glass, and Sand.	Typical Materials Photopolymers, Polymers, Waxes
Created and designed by Hybrid Manufacturing Technologies. Copyright 2015-2018. For more information go to www.hybridmanutech.com			

Quick Reference: 7 Families of Additive Manufacturing According to ISO/ASTM52900-15 (formerly ASTM F2792)			
SHEET LAMINATION	MATERIAL EXTRUSION	DIRECTED ENERGY DEPOSITION (DED)	HYBRID
Alternative Names: LOM - Laminated Object Manufacture SDL - Selective Deposition Lamination UAM - Ultrasonic Additive Manufacturing	Alternative Names: FFF - Fused Filament Fabrication FDM™ - Fused Deposition Modeling	Alternative Names: LMD - Laser Metal Deposition LENS™ - Laser Engineered Net Shaping DMD™ - Direct Metal Deposition	Alternative Names: AMBIT™ - Created by Hybrid Manufacturing Technologies
Description: Sheets of material are stacked and laminated together to form an object. The lamination method can use adhesives or chemical bonding (paper/plastics), ultrasonic welding, or brazing (metals). Unneeded regions are usually cut layer by layer and removed after the object is built.	Description: Material is extruded through a nozzle or orifice in tracks or beads, which are then combined into multi-layer models. Common varieties include heated thermoplastic extrusion (similar to a hot glue gun) and syringe dispensing.	Description: Powder or wire is fed into a melt pool which has been generated on the surface of the part where it adheres to the underlying part or layers by using an energy source such as a laser or electron beam. This is essentially a form of automated build-up welding.	Description: Laser metal deposition (a form of DED) is combined with CNC machining, which allows additive manufacturing and 'subtractive' machining to be performed in a single machine so that parts can utilize the strengths of both processes.
Strengths: <ul style="list-style-type: none"> • High volumetric build rates • Relatively low cost (non-metals) • Allows for combinations of metal foils, including embedding components. 	Strengths: <ul style="list-style-type: none"> • Inexpensive and economical • Allows for multiple colors • Can be used in an office environment • Parts have good structural properties 	Strengths: <ul style="list-style-type: none"> • Not limited by direction or axis • Effective for repairs and adding features • Multiple materials in a single part • Highest single-point deposition rates 	Strengths: <ul style="list-style-type: none"> • Smooth surface finish AND High Productivity • Geometrical and material freedoms of DED • Automated in-process support removal, finishing, and inspection
Typical Materials Paper, Plastic Sheets, and Metal Foils/Tapes	Typical Materials Thermoplastic Filaments and Pellets (FFF); Liquids, and Slurries (Syringe Types)	Typical Materials Metal Wire and Powder, with Ceramics	Typical Materials Metal Powder and Wire, with Ceramics
<small>AMBIT and the 3-bolt Hybrid logo are registered trademarks of Hybrid Manufacturing Technologies</small>			
Created and designed by Hybrid Manufacturing Technologies. Copyright 2015-2018. For more information go to www.hybridmanutech.com			

ANNEX 2: Llistat d'elements amb criteris d'ús naval

Name	
Alumina (85)(410)	Beryllium-aluminum alloy, Beralcast 191, cast
Alumina (85)(H880)	Beryllium-aluminum alloy, Beralcast 363, cast
Alumina (88)	Bioglass ceramic
Alumina (90)	BMI/HS carbon fiber, UD composite, quasi-isotropic laminate
Alumina (94)	Boron carbide (hot pressed)
Alumina (94)(AL500)	Boron carbide (hot pressed) (commercial purity)
Alumina (94)(cold pressed and sintered)	Boron nitride (HIP)
Alumina (94)(SGM)	Boron nitride (HP)(parallel to hot-pressing direction)
Alumina (95)	Boron nitride (HP)(perp. to hot-pressing direction)
Alumina (96)	Brass, CuZn10, C22000, wrought, soft (gilding metal)
Alumina (96)(H961)	Brass, CuZn10Pb3Sn2, sand-cast
Alumina (97)	Brass, CuZn15, C23000, wrought, soft (red brass)
Alumina (97)(cold pressed and sintered)	Brass, CuZn15As0.2, C23000, sand-cast (brazable brass)
Alumina (97.5)	Brass, CuZn20, C24000, wrought, soft (low brass)
Alumina (97.5)(D975)	Brass, CuZn20Al2, C68700, wrought, soft (aluminum brass)
Alumina (97.6)	Brass, CuZn28, C25600, wrought, soft (deep-drawing/cartridge brass)
Alumina (99)	Brass, CuZn28Sn1, C44300, wrought, soft (admiralty brass)
Alumina (99)(cold pressed and sintered)	Brass, CuZn30, C26000, wrought, soft (deep-drawing/cartridge brass)
Alumina (99.5)	Brass, CuZn30, C43600, wrought, soft (arsenical 70/30 brass)
Alumina (99.5)(AL995)	Brass, CuZn30Pb2, C85400, sand-cast
Alumina (99.5)(D995)	Brass, CuZn33, C26800, wrought, soft (yellow brass)
Alumina (99.5)(SAN)	Brass, CuZn34Pb1, C34000, wrought, soft (leaded (clock) brass)
Alumina (99.7)	Brass, CuZn35Sn1, C85700, sand-cast (naval brass)
Alumina (99.7)(SAO)	Brass, CuZn36, C26800, wrought, hard (basis brass)
Alumina (99.8)	Brass, CuZn36, C26800, wrought, soft (basis brass)
Alumina (99.9)	Brass, CuZn36Pb2, C35300, wrought, soft (leaded (clock) brass)
Alumina (99.95)	Brass, CuZn36Pb3, C36000, wrought (cold worked), (free-cutting brass)
Alumina (translucent)	Brass, CuZn36Pb3, C36000, wrought, soft (free-cutting brass)
Alumina (zirconia toughened)	Brass, CuZn38Mn1.5, wrought (hot worked), (high-tensile brass)
Alumina foam (99.8%)(1.2)	Brass, CuZn38Mn1.5, wrought, as drawn (high-tensile brass)
Alumina, Saffil RF grade (3 micron, f)	Brass, CuZn38Sn1, C46400, wrought, hard (naval brass)
Alumina, Saffil RG grade (3 micron, f)	Brass, CuZn38Sn1, C46400, wrought, soft (naval brass)
Alumino silicate - 1720	Brass, CuZn39Pb2, C37700, wrought (hot worked), (leaded (clock) brass)
Alumino silicate - 1723	Brass, CuZn39Pb2, C37700, wrought (hot worked), (leaded (forging) brass)
Alumino silicate/Nextel 720, 45Vf - woven fabric	Brass, CuZn39Pb2, C37700, wrought, soft (leaded (clock) brass)
Alumino silicate/Nextel 720. 45Vf - quasi-isotropic laminate	Brass, CuZn39Pb2, C37700, wrought, soft (leaded (forging) brass)
Aluminum nitride	Brass, CuZn40, C28000, wrought, hard (muntz metal)
Aluminum nitride (97)	Brass, CuZn40, C28000, wrought, soft (muntz metal)
Aluminum nitride (AlN)	Brass, CuZn40, C85500, gravity die-cast
Antler	
ASA/PVC (unfilled)	
Beryllia	
Beryllia (99)	
Beryllia (B995)	
Beryllium, grade 0-50, hot isostatically pressed	
Beryllium, grade I-220B, vacuum hot-pressed	
Beryllium, grade I-400, vacuum hot-pressed	
Beryllium, grade I-70A, vacuum hot-pressed	
Beryllium, grade S-200F, vacuum hot-pressed	
Beryllium, grade S-200FC, cold isostatically pressed	
Beryllium, grade S-200FH, hot isostatically pressed	
Beryllium, grade S-65B, vacuum hot-pressed	
Beryllium, grade SR-200, plate, >6.35 mm thick	
Beryllium, Standard Grade, hot pressed	
Beryllium, Standard Grade, stress relieved	
Beryllium-aluminum alloy, AlBeMet 162	

Brass, CuZn40Mn3Al2Fe2, C86550, cast (high-tensile manganese bronze)
 Brass, CuZn40Pb1, C36500, wrought (cold worked), (lead muntz metal)
 Brass, CuZn40Pb1, C36500, wrought (hot worked), (lead muntz metal)
 Brass, CuZn40Pb2, C38000, pressure die cast
 Brass, CuZn40Pb2Sn1, C85800, gravity die-cast (naval brass)
 Brass, CuZn40Pb3, C37710, wrought (hot worked), (free-cutting brass)
 Brass, CuZn5, C21000, wrought, soft (gilding metal)
 Bronze, C86500 (manganese bronze)
 Bronze, C93500, cast (lead bronze 85-5-10)
 Bronze, C93700, cast (lead bronze 80-10-10)
 Bronze, C93800, cast (lead bronze 76-9-15)
 Bronze, C94100, cast (lead bronze 75-5-20)
 Bronze, CuAl10, wrought (hot worked), (90/10 aluminum bronze)
 Bronze, CuAl10, wrought, as extruded (90/10 aluminum bronze)
 Bronze, CuAl10Fe3, C95200, cast (aluminum bronze)
 Bronze, CuAl10Fe5Ni5, C95820, cast (aluminum bronze)
 Bronze, CuAl5, C60800, wrought, soft (95/5 aluminum bronze)
 Bronze, CuAl6Si2Fe1, C64200, wrought, as extruded (silicon aluminum bronze)
 Bronze, CuAl7, C61000, wrought, half hard (93/7 aluminum bronze)
 Bronze, CuAl7, C61000, wrought, hard (93/7 aluminum bronze)
 Bronze, CuAl7, C61000, wrought, soft (93/7 aluminum bronze)
 Bronze, CuAl7Fe3, C61300, wrought (93/7 aluminum bronze D)
 Bronze, CuAl8, C61000, wrought, half hard (92/8 aluminum bronze)
 Bronze, CuAl8, C61000, wrought, soft (92/8 aluminum bronze)
 Bronze, CuAl9Ni6Fe3, C63000, wrought, forged (aluminum bronze E)
 Bronze, CuNi10Zn27, C74500, wrought, soft (10% nickel silver)
 Bronze, CuNi10Zn42Pb2, C79830, wrought, soft (lead nickel silver)
 Bronze, CuNi12Zn22Pb9Sn2, C97300, cast (12% nickel silver)
 Bronze, CuNi12Zn24, C75700, wrought, soft (12% nickel silver)
 Bronze, CuNi14Zn44Pb2, wrought, soft (lead nickel silver)
 Bronze, CuNi15Zn21, C75400, wrought, soft (15% nickel silver)
 Bronze, CuNi18Zn20, C75200, wrought, soft (18% nickel silver)
 Bronze, CuNi18Zn29, C77000, wrought, soft (18% nickel silver)
 Bronze, CuNi20Zn27, wrought, soft (20% nickel silver)

Bronze, CuNi25Zn17, wrought, soft (25% nickel silver)
 Bronze, CuSi3.5Mn1, cast (silicon bronze)
 Bronze, CuSi3Mn1, C65500, wrought, soft (silicon bronze)
 Bronze, CuSn10, C90700, cast (tin bronze)
 Bronze, CuSn11P, C90710, cast (phosphor bronze)
 Bronze, CuSn12, C90810, cast (phosphor bronze)
 Bronze, CuSn4, C50900, wrought, soft (3% phosphor bronze)
 Bronze, CuSn4, C51000, wrought, soft (5% phosphor bronze)
 Bronze, CuSn6, C51900, wrought, soft (7% phosphor bronze)
 Bronze, CuSn7Pb3, C93100, cast (lead phosphor bronze)
 Bronze, CuSn8, C52100, wrought, soft (9% phosphor bronze)
 Bronze, CuSn9Pb1, C52400, cast (phosphor bronze)
 Calcium phosphate bio-ceramic
 Cast iron, high silicon, BS grade Si 10
 Cast iron, high silicon, BS grade Si 14
 Cast iron, high silicon, BS grade Si16
 Cast iron, high silicon, BS grade SiCr 14 4
 Chromic oxide
 Chromium, commercial purity, soft, >99%Cr
 Coated copper, copper, lead coated
 Copper, C10100, wrought, hard (electrolytic tough-pitch h.c. copper)
 Copper, C10100, wrought, soft (electrolytic tough-pitch h.c. copper)
 Copper, C10200, wrought (hot-rolled), (oxygen-free h.c. copper)
 Copper, C10200, wrought, half hard (oxygen-free h.c. copper)
 Copper, C10200, wrought, hard (oxygen-free h.c. copper)
 Copper, C10200, wrought, soft (oxygen-free h.c. copper)
 Copper, C10500, hot rolled (silver-bearing oxygen-free h.c. copper)
 Copper, C10500, wrought, hard (silver-bearing oxygen-free h.c. copper)
 Copper, C10500, wrought, soft (silver-bearing oxygen-free h.c. copper)
 Copper, C12200, wrought, hard (phosphorus de-oxidized arsenical h.c. copper)
 Copper, C12200, wrought, soft (phosphorus de-oxidized h.c. copper)
 Copper, C12500, wrought, hard (fire-refined tough-pitch h.c. copper)
 Copper, C12500, wrought, soft (fire-refined tough-pitch h.c. copper)
 Copper, C14200, wrought, hard (phosphorus de-oxidized arsenical h.c. copper)
 Copper, C14200, wrought, hard (tough-pitch arsenical h.c. copper)
 Copper, C14200, wrought, soft (phosphorus de-oxidized arsenical h.c. copper)

copper)	Germanium
Copper, C14200, wrought, soft (tough-pitch arsenical h.c. copper)	Glass ceramic (FC)
Copper, cast (h.c. copper)	Glass ceramic (N0)
Copper, CuSn10Zn2, C90500, cast (admiralty gunmetal)	Glass ceramic (N11)
Copper-beryllium alloy, CuBe2CoNi, C17000, w	Glass ceramic (ZD)
Copper-cadmium alloy, C16200, wrought, hard (h.c. copper)	Glass ceramic - 0330
Copper-cadmium alloy, C16200, wrought, soft (h.c. copper)	Glass ceramic - 9606
Copper-Cd-Sn alloy, wrought, soft (h.c. copper)	Glass ceramic - 9608
Copper-chromium alloy, C18200, w (h.c. copper)	Glass ceramic - 9658
Copper-chromium alloy, C18200, wh (h.c. copper)	Glidcop AL-15 (annealed wire)
Copper-Co-Be alloy, CuCo2Be, C17500, w	Gold, commercial purity, P00020, cold worked, hard, min 99.5%
Copper-Cr-Zr alloy, C18100, wp (h.c. copper)	Gold, commercial purity, P00020, soft (annealed), min 99.5%
Copper-lead alloy, 87-7-3-3, C92410, cast (lead gunmetal)	Gold, Jeneric Pentron C&B 50, quenched (dental alloy)
Copper-lead alloy, CuPb5Sn5Zn5 (85-5-5-5) C83600, cast (lead gunmetal)	Gold, Jeneric Pentron C&B 57, quenched (dental alloy)
Copper-lead alloy, CuSn2ZnPb, C83810, cast (lead gunmetal)	Gold, Jeneric Pentron LDG C&B (dental alloy)
Copper-nickel alloy, C70400, wrought, soft (95/5 copper-nickel)	Gold, Jeneric Pentron Midacast, quenched (dental alloy)
Copper-nickel alloy, C70600, wrought, soft (90/10 copper-nickel)	Gold, Jeneric Pentron Rx A (dental alloy)
Copper-nickel alloy, C71000, wrought, soft (80/20 copper-nickel)	Gold, Jeneric Pentron Rx B (dental alloy)
Copper-nickel alloy, C71300, wrought, soft (75/25 copper-nickel)	Gold, Jeneric Pentron Rx C, quenched (dental alloy)
Copper-nickel alloy, C96200, cast (90/10 copper-nickel)	Gold, Jeneric Pentron Rx D, quenched (dental alloy)
Copper-nickel alloy, C96400, cast (70/30 copper-nickel)	Gold, Jeneric Pentron Rx KB40-KF, quenched (dental alloy)
Copper-nickel alloy, cast (nickel gunmetal)	Gold, Jeneric Pentron Special Inlay Gold (dental alloy)
Copper-nickel alloy, CuNi30Mn1Fe, C71500, wrought, half hard (70/30 copper-nickel)	Gold-platinum alloy, soft (annealed)
Copper-nickel alloy, CuNi30Mn1Fe, C71500, wrought, soft (70/30 copper-nickel)	Graphite (1.80)
Copper-nickel alloy, CuNi30Mn2Fe2, C71640, wrought, soft (70/30 copper-nickel)	Graphite (1.82)
Copper-sulfurous alloy, C14700, wrought, hard (h.c. copper)	Graphite (pure)
Copper-sulfurous alloy, C14700, wrought, soft (h.c. copper)	Graphite (pyrolytic)(2.06)(parallel to plane)
Copper-tellurium alloy, C14500, wrought, hard (h.c. copper)	Graphite (pyrolytic)(2.19)(parallel to plane)
Copper-tellurium alloy, C14500, wrought, soft (h.c. copper)	Hafnium, commercial purity, min 97.0%
Copper-zirconium alloy, C15100, wp (h.c. copper)	Iridium, commercial purity, soft, min 99.9%
Cordierite	Lead-antimony alloy, Hard lead 91-9, cast
Cyanate ester/HM carbon fiber, UD composite, 90° lamina	Lead-antimony alloy, Hard lead 92-8, cast
Epoxy resin (cycloaliphatic)	Lead-antimony alloy, Hard lead 92-8, heat treated at 235°C (quenched & aged)
Epoxy SMC (carbon fiber)	Lead-antimony alloy, Hard lead 96-4, heat treated at 235°C (quenched & aged)
ETFE (25% glass fiber, modified)	Lead-calcium alloy, cast, 0.5%Sn
Forsterite	Lead-calcium alloy, cast, 1.0%Sn
	Lead-calcium alloy, rolled, 0.7%Sn
	Lead-calcium alloy, rolled, 1.3%Sn
	Magnesia (hot pressed)
	Magnesia (MgO)
	Mullite (Al2O3-SiO2 alloys)
	Mullite (dense, fused, pressed brick)(76)
	Nickel, commercial purity, grade 200, soft (annealed)
	Nickel, commercial purity, grade 201, annealed, low carbon
	Nickel, commercial purity, grade 205, annealed
	Nickel, commercial purity, grade 270
	Nickel, CZ-100, as cast
	Nickel, Permanickel Alloy 300, annealed

Nickel-chromium alloy, INCONEL 600, wrought (cold drawn)	Palladium, commercial purity, P03980, soft (annealed)
Nickel-chromium alloy, INCONEL 600, wrought (hot worked)	Palladium, commercial purity, rolled, hard (electrical contact material)
Nickel-chromium alloy, INCONEL 600, wrought, annealed	Palladium, commercial purity, rolled, soft (electrical contact material)
Nickel-chromium alloy, NIMONIC 75, annealed	Palladium-Jeneric Pentron NuGold 2% (dental alloy)
Nickel-copper alloy, M-35-1, as cast	Palladium-ruthenium alloy, soft (annealed, jewellery alloy)
Nickel-copper alloy, M-35-2, as cast	Palladium-silver alloy, soft (electrical contact material)
Nickel-copper alloy, MONEL 400, soft (annealed)	Pb-25%Al ₂ O ₃ (f)
Nickel-copper alloy, MONEL 404, sulfur rich	Pb-5%Al ₂ O ₃ (f)
Nickel-copper alloy, MONEL R-405	PBT (30% glass fiber, flame retarded)
Nickel-Cr-Fe alloy, Alloy 610, as cast	PBT (40-45% glass and mineral)
Nickel-Cr-Fe alloy, Alloy 611, as cast	PBT (50% glass fiber)
Nickel-Cr-Mo alloy, CW-6MC, as cast	PBT (50% long glass fiber)
Nickel-Cr-Mo alloy, ILLIUM 98, as cast	PBT (60% long glass fiber)
Nickel-Cr-Mo alloy, ILLIUM G, as cast	PBT (7-15% glass fiber, flame retarded)
Nickel-Cu-Al-Ti alloy, MONEL 502, hot rolled	PBT (general purpose, flame retarded)
Nickel-Cu-Nb alloy, M-30C, as cast	PCT (15% glass fiber)
Nickel-Fe-Cr alloy, HAYNES HR-120, annealed	PCT (20% glass fiber, flame retarded)
Nickel-Fe-Cr alloy, HW grade, as cast	PCT (27% glass fiber and mineral)
Nickel-Fe-Cr alloy, HX grade, aged	PCT (30% glass fiber)
Nickel-Fe-Cr alloy, HX grade, as cast	PCT (30% glass fiber, flame retarded)
Nickel-Fe-Cr alloy, INCOLOY 800, annealed	PCT (40% glass fiber and mineral)
Nickel-Fe-Cr alloy, INCOLOY 801, annealed	PCT (40% glass fiber)
Nickel-Fe-Cr alloy, INCOLOY 825, annealed	PCT (40% glass fiber, flame retarded)
Nickel-Fe-Cr alloy, INCOLOY 840, annealed	PCTA (20% glass fiber)
Nickel-iron alloy, alloy 52, wrought (sealing alloy)	PCTA (unfilled)
Nickel-iron alloy, INVAR, soft (annealed)	PEEK (30% carbon fiber)
Nickel-magnetic alloy, 45Ni-3Mo-Fe, soft	PEEK (30% glass fiber)
Nickel-magnetic alloy, 45Ni-Fe, Alloy 1, soft (annealed)	PEEK (unfilled)
Nickel-magnetic alloy, 49Ni-Fe, Alloy 2B, soft (annealed)	PEEK-modified (30% carbon fiber)
Nickel-magnetic alloy, 75Ni-5Cu-2Cr-Fe, Alloy 3, soft (annealed)	PEEK-modified (30% glass fiber)
Nickel-magnetic alloy, 78.5Ni-Fe, soft	PEEK-modified (40% glass fiber)
Nickel-magnetic alloy, 79Ni-4Mo-Fe, Alloy 4, soft (annealed)	PEEK-modified (unfilled)
Nickel-Mo-Cr alloy, CW-12MW, as cast	PEEK-modified (wear grade)
Nickel-Mo-Cr alloy, CW-6M, as cast	PEEK-modified (wear grade, high load)
Nickel-Mo-Cr alloy, HASTELLOY N	PEEK/IM carbon fiber, UD composite, 90° lamina
Nickel-molybdenum alloy, N-12MV, as cast	PEI (30% carbon fiber)
Nickel-molybdenum alloy, N-7M, as cast	PEI (30% glass fiber)
Nickel-titanium alloy wire, annealed, martensitic	PEI (unfilled)
Nickel-titanium alloy, austenitic	PEK (20% glass fiber)
Nickel-titanium alloy, martensitic	PEK (20-30% carbon fiber)
Niobium, commercial purity, Type 1 (reactor grade)	PEK (30% carbon fiber)
Niobium, commercial purity, Type 2 (commercial grade)	PEK (30% glass fiber)
Niobium-Hf-Ti alloy, Alloy C-103, recrystallized	PEK (40% glass fiber)
Niobium-zirconium alloy, NB-1Zr Type 3 (reactor grade)	PEK (40% glass fiber, modified)
Niobium-zirconium alloy, NB-1Zr Type 4 (commercial grade)	PEK (unfilled)
PAI (30% carbon fiber)	PEKK (30% carbon fiber)
PAI (30% glass fiber)	PEKK (30% glass fiber)
PAI (graphite and PTFE)	PEKK (40% carbon fiber)
PAI (graphite and PTFE, high PV) PAI (unfilled)	PEKK (40% glass fiber)
Palladium, commercial purity, P03980, cold worked, hard	PEKK (unfilled, amorphous)
	PEKK (unfilled, semi-crystalline)
	PET (15% glass fiber, flame retarded V-0 1/32)
	PET (15-20% glass fiber, flame retarded)
	PET (30% glass fiber, flame retarded)
	PET (40% glass fiber, flame retarded)
	PF (casting resin)

PF (glass and/or mineral filled, heat resistant, molding)	PPS (53% glass fiber and mineral, impact)
PF (high strength glass fiber, molding)	PPS (55% glass fiber and mineral)
PF (woodflour and mineral filled, molding)	PPS (60% glass fiber and mineral)
Phenolic/E-glass fiber, woven fabric composite, biaxial lamina	PPS (60% long glass fiber)
Phenolic/E-glass fiber, woven fabric composite, quasi-isotropic laminate	PPS (65% glass fiber and mineral filled)
PI (15% graphite)	PPS (encapsulation)
PI (25% graphite)	PPS (general purpose)
PI (30% carbon fiber)	PPSU (unfilled)
PI (30% carbon fiber, crystallized)	PVC (20% glass fiber, molding)
PI (30% glass fiber)	PVC (chlorinated, molding and extrusion)
PI (40% glass fiber)	PVC (rigid, high impact, molding and extrusion)
PI (40% graphite)	PVC (rigid, lead stabilized)
PI (50% glass fiber)	PVC (rigid, molding and extrusion)
PI (thermoset)	PVDF (30% carbon fiber)
PI (unfilled)	PVDF (homopolymer, molding and extrusion)
Platinum, commercial purity, P04995, hard drawn	Rhodium, commercial purity, soft
Platinum-iridium alloy, annealed, 10%Ir	Sapphire (99.9%)
Platinum-iridium alloy, annealed, 5%Ir	Selenium, commercial purity
Platinum-iridium alloy, hard, 10%Ir	SiC/SiC fiber, 35-45Vf - quasi-isotropic laminate
Platinum-iridium alloy, hard, 5%Ir	SiC/SiC fiber, 35-45Vf - woven laminate
Platinum-rhodium alloy, annealed, 10%Rh	Silica (96%)
Platinum-rhodium alloy, annealed, 20%Rh	Silica (fused)
Platinum-rhodium alloy, annealed, 3.5%Rh	Silica (quartz fused)
Platinum-rhodium alloy, annealed, 5%Rh	Silicon carbide (hot pressed) (commercial purity)
Platinum-rhodium alloy, hard, 3.5%Rh	Silicon carbide (reaction bonded)(RF)
Platinum-rhodium alloy, hard, 5%Rh	Silicon carbide (sintered, beta)(RB)
Polyester liquid crystal (15% glass fiber)	Silicon nitride (hot pressed) (commercial purity)
Polyester liquid crystal (30% carbon fiber)	Silicon nitride (reaction bonded)
Polyester liquid crystal (30% glass fiber)	Silicon nitride (reaction bonded)(NR)
Polyester liquid crystal (30% mineral filled)	Silicon nitride (sintered)(NS)
Polyester liquid crystal (40% glass fiber)	Silver amalgam
Polyester liquid crystal (40% glass fiber/10% mineral)	Silver, Coin Silver, soft (annealed, electrical contact alloy)
Polyester liquid crystal (40% mineral filled)	Silver, commercial purity, fine, cold worked, hard
Polyester liquid crystal (45% glass fiber)	Silver, commercial purity, fine, soft (annealed)
Polyester liquid crystal (50% glass fiber)	Silver, commercial purity, Grade 99.9, cast (cold worked), hard, bar
Polyester liquid crystal (unfilled)	Silver, commercial purity, Grade 99.9, cast, soft (annealed), bar
Polyester SMC (20% glass fiber, self-extinguishing)	Silver, Jeneric Pentron C&B 20, quenched (dental alloy)
Polyester SMC (25% glass fiber, self-extinguishing)	Silver, Jeneric Pentron C&B 40, quenched (dental alloy)
Polyester SMC (30% glass fiber, self-extinguishing)	Silver, P07931, soft (annealed), wire, 2.3mm dia. (Sterling)
Polyester SMC (30% glass fiber, self-extinguishing, low resistivity)	Silver-copper alloy, eutectic, soft (annealed)
Polyester SMC (35% glass fibre, self-extinguishing)	Silver-Cu-Ni alloy, soft (electrical contact alloy)
Polyester SMC (40% glass fibre, self-extinguishing)	Silver-magnesium alloy, Type B (electrical contact alloy)
Polyester SMC (50% glass fiber, self-extinguishing)	Silver-Mg-Ni alloy, ELKONIUM 63, hard (electrical contact alloy)
Porcelain (siliceous)	Silver-Mg-Ni alloy, ELKONIUM 63, soft (electrical contact alloy)
Potassium alumino silicate muscovite mica	Silver-nickel alloy, hard, wire, 10%Ni (electrical contact material)
PPS (10-20% glass fiber)	Silver-nickel alloy, hard, wire, 15%Ni (electrical contact material)
PPS (20% carbon fiber)	Silver-nickel alloy, hard, wire, 30%Ni (electrical contact material)
PPS (30% carbon fiber)	Silver-nickel alloy, soft, wire, 10%Ni (electrical contact material)
PPS (30% carbon fiber, 15% PTFE)	
PPS (30% glass fiber)	
PPS (30% glass fiber, 15% PTFE)	
PPS (30% long glass fiber)	
PPS (40% carbon fiber)	
PPS (40% glass fiber)	
PPS (40% long glass fiber)	
PPS (50% glass fiber and mineral)	
PPS (50% long glass fiber)	

Silver-nickel alloy, soft, wire, 15%Ni (electrical contact material)
 Silver-nickel alloy, soft, wire, 30%Ni (electrical contact material)
 Stainless steel, austenitic, 316Ti, wrought
 Stainless steel, austenitic, AISI 201, wrought, annealed
 Stainless steel, austenitic, AISI 201L, wrought
 Stainless steel, austenitic, AISI 301, wrought, annealed
 Stainless steel, austenitic, AISI 301L, wrought
 Stainless steel, austenitic, AISI 302, wrought, annealed
 Stainless steel, austenitic, AISI 303, wrought, annealed
 Stainless steel, austenitic, AISI 304, wrought, annealed
 Stainless steel, austenitic, AISI 304L, wrought
 Stainless steel, austenitic, AISI 304LN, wrought
 Stainless steel, austenitic, AISI 305, wrought, annealed
 Stainless steel, austenitic, AISI 308, wrought, annealed
 Stainless steel, austenitic, AISI 308L, wrought, annealed
 Stainless steel, austenitic, AISI 309, wrought, annealed
 Stainless steel, austenitic, AISI 310, wrought, annealed
 Stainless steel, austenitic, AISI 316, wrought, annealed
 Stainless steel, austenitic, AISI 316L, wrought
 Stainless steel, austenitic, AISI 317, wrought, annealed
 Stainless steel, austenitic, AISI 317L, wrought
 Stainless steel, austenitic, AISI 321, wrought
 Stainless steel, austenitic, AISI 330, wrought, annealed
 Stainless steel, austenitic, AISI 347, wrought
 Stainless steel, austenitic, ASTM CF-12M, cast
 Stainless steel, austenitic, ASTM CF-16F, cast
 Stainless steel, austenitic, ASTM CF-20, cast
 Stainless steel, austenitic, ASTM CF-3, cast
 Stainless steel, austenitic, ASTM CF-3M, cast
 Stainless steel, austenitic, ASTM CF-8, cast
 Stainless steel, austenitic, ASTM CF-8C, cast
 Stainless steel, austenitic, ASTM CF-8M, cast
 Stainless steel, austenitic, ASTM CK-20, cast
 Stainless steel, austenitic, ASTM CN-7M, cast

Stainless steel, austenitic, ASTM CN-7MS, cast
 Stainless steel, austenitic, BS315S16, wrought
 Stainless steel, ferritic, AISI 405, wrought, annealed, low nickel
 Stainless steel, ferritic, AISI 409, wrought, annealed
 Stainless steel, ferritic, AISI 429, wrought, annealed
 Stainless steel, ferritic, AISI 430, wrought, annealed
 Stainless steel, ferritic, AISI 434, wrought, annealed
 Stainless steel, ferritic, AISI 442, wrought, annealed
 Stainless steel, ferritic, AISI 444, wrought, annealed
 Stainless steel, ferritic, AISI 446, wrought, annealed
 Stainless steel, martensitic, AISI 403, wrought, annealed
 Stainless steel, martensitic, AISI 410S, wrought, annealed
 Stainless steel, super-austenitic, alloy 904L, wrought, annealed
 Steatite (general)(920)
 Steatite (low loss)(908)
 Steatite (MM)
 Tantalum carbide
 Tantalum, commercial purity, R05200, annealed, >99.7% Ta
 Tantalum-tungsten alloy, R05252, annealed
 Thoria
 Titanium carbide
 Titanium, alpha alloy, Ti-02Pd (Grade 11)
 Titanium, commercial purity, Grade 1
 Titanium, commercial purity, R50700, annealed
 Vanadium, commercial purity, annealed, wire
 Zirconia
 Zirconia (CSZ)
 Zirconia (HTZ)
 Zirconia (MgO / CaO stabilized)
 Zirconia (PSZ) (cerafine)
 Zirconia (transformation toughened)(H)
 Zirconia (Y2O3 stabilized)
 Zirconium, commercial purity, R60001 (reactor grade)
 Zirconium, commercial purity, Zr702, wrought (industrial grade)
 Zirconium, commercial purity, Zr702C, cast (industrial grade)
 Zirconium-tin alloy, Zircaloy-2, 1.5%Sn (reactor grade)
 Zirconium-tin alloy, Zr704, wrought, 1.5%Sn (industrial grade)
 Zirconium-tin alloy, Zr704C, cast, 1.5%Sn (industrial grade)

ANNEX 3: Estudi de les peces aptes a ser impreses en fabricació additiva

A continuació es mostra un seguit de taules que, per sistemes, mostren l'estudi de les diferents peces aptes per a ser impreses mitjançant tecnologia d'impressió 3D.

Els diferents sistemes i equips que s'han seleccionat per estudiar són:

- **Sistema de refrigeració**
- **Sistema de buidatge (achique) i contra incendis**
- **Sistema de combustible**
- **Sistema hidràulic**
- **Sistema d'aigua potable i aigües brutes**
- **Sistema elèctric**
- **Sistema d'aire comprimit**
- **Equip de fondeig i amarratge**
- **Altres elements**
- **Equips per a la navegació**
- **Equips per a la comunicació**
- **Equips per a la seguretat del vaixell**

Valoració final	sistema de refrigeració	Possible impressió	Peça no-estructural	Comentaris
APTE	reixeta de la presa de mar	SÍ	SÍ	es tracta de la peça externa del casc, no de l'espai (aquest sí que és estructural)
APTE	reixeta de la presa de mar de costat	SÍ	SÍ	es tracta de la peça externa del casc, no de l'espai (aquest sí que és estructural)
APTE	Col·lector de refrigeració	SÍ	SÍ	
APTE	refredadors/intercanviadors de calor (tubular)	SÍ	SÍ	s'ha de mirar la estanqueïtat del material i les temperatures que pot arribar a suportar
APTE	keel cooler / Box cooler	SÍ	SÍ	s'ha de mirar la estanqueïtat del material i també les temperatures que pot arribar a suportar
APTE	ventilació d'aire (reixetes)	SÍ	SÍ	
APTE	canonades (tuberías)	SÍ	SÍ	
APTE	Passa casc i aixeta de fons	SÍ	SÍ	
NO APTÉ	presa de mar de fons	NO	NO	es tracta de l'espai, conformat per la reixeta, el filtre, canonades...
NO APTÉ	Presa de mar de costat	NO	NO	
NO APTÉ	vàlvules de fons (entre press de mar i caixa de fangs)	NO	SÍ	molts mecanismes
NO APTÉ	caixa de fangs	NO	SÍ	
NO APTÉ	filtres (per a protecció de bombes, intercanviadors de calor... protegir de les substàncies de AS)	NO	SÍ	molts mecanismes
NO APTÉ	bombes	NO	NO	molts mecanismes
NO APTÉ	manòmetre	NO	SÍ	molts mecanismes
NO APTÉ	termòmetre	NO	SÍ	molts mecanismes
NO APTÉ	alarma de baix nivell (tanc d'expansió AD)	NO	SÍ	
NO APTÉ	"chumaceras de apoyo y de empuje" de l'eix del MP a la hèlix	SÍ	NO	es tracta d'una peça que ha de suportar altes càrregues de l'eix de la hèlix. A més, sol ser refrigerada, el que comporta que es tracta d'una peça que complexa.

Taula 8.1: Llistat i selecció dels elements propis del sistema de refrigeració de l'embarcació. Font pròpia

Valoració final	sistema de buidatge (achique) i contra incendis	Possible impressió	Peça no-estructural	Comentaris
APTE	sistemes fixes d'extinció d'incendis	SÍ	SÍ	Fa referència als ruixadors
APTE	panells/taulell amb indicadors de les portes contra incendis	SÍ	SÍ	el panell es pot fer a mida segons els indicadors que es requereixen (pot estar col·locat sobre una secció de planta)
APTE	sistema de comunicació d'incendis (micròfons de sistema megafonia, telèfons...)	SÍ	SÍ	No és econòmic ni viable ja que porta sistema elèctric i s'hauria de construir al voltant d'aquest. Després, en cas de manteniment no seria pràctic.
NO APTÉ	bombes	NO	SÍ	molts mecanismes
NO APTÉ	col·lector	SÍ	NO	És pràctic en cas que es requereixi una forma específica. En cas de ser tubular amb diàmetres estàndards, resulta més econòmic comprar-lo. Se suposa que suporta molta pressió.
NO APTÉ	boques i mànegues contra incendis (1 per boca, llança/boquilla de doble efecte) (una mànega per cada 3m d'eslora)	NO	SÍ	masses elements
NO APTÉ	extintors de incendis	NO	NO	treballen a pressió
NO APTÉ	sistemes fixes de detecció d'incendis i alarma contra incendis (detectors de fum fotoelèctrics o iònics, detectors tèrmics, detectors de flames)	NO	SÍ	masses elements
NO APTÉ	connexió internacional a terra (CIT) per a dic sec	SÍ	NO	estanqueïtat completa i pressió
NO APTÉ	separador de sentines (15ppm)	NO	NO	masses elements
NO APTÉ	equips filtradors (primer substàncies sòlides, després absorbeix oli)	NO	SÍ	masses elements

Taula 8.2: Llistat i selecció dels elements propis del sistema de buidatge i contra incendis. Font pròpia

Valoració final	sistema de combustible	Possible impressió	Peça no-estructural	Comentaris
APTE	Brida (unions canonades)	SÍ	SÍ	Si es tracta d'una peça molt concreta resulta més factible imprimir-la en 3D
APTE	Colzes de canonades	SÍ	SÍ	Pràctic per la realització de colzes amb angles i diàmetres de total llibertat
APTE	acoblaments	SÍ	SÍ	
APTE	tes (per a la ramificació d'una canonada)	SÍ	SÍ	
APTE	racor (unió de tub a altres accessoris o equips, amb rosca)	SÍ	SÍ	
APTE	reduccions (en les canonades)	SÍ	SÍ	
APTE	canonades	SÍ	SÍ	es poden obtenir formes que s'ajustin a espais concrets
APTE	penetracions (travessar mampares)	SÍ	SÍ	s'han de valorar i garantir les mampares estanques
APTE	tanc magatzem	SÍ	SÍ	Els tancs són estructurals en aquesta embarcació. Acoblats al casc per aprofitar major capacitat volumètrica.
APTE	tanc de servei diari (8h)	SÍ	SÍ	Els tancs són estructurals en aquesta embarcació. Acoblats al casc per aprofitar major capacitat volumètrica.
APTE	tanc de llots (lodos)	SÍ	SÍ	Els tancs són estructurals en aquesta embarcació.
APTE	tanc de sobreeximents	SÍ	SÍ	Els tancs són estructurals en aquesta embarcació. Acoblats al casc per aprofitar major capacitat volumètrica.
NO APTÉ	bomba	NO	SÍ	masses mecanismes
NO APTÉ	vàlvules	NO	SÍ	masses mecanismes
NO APTÉ	filtres	NO	SÍ	masses mecanismes
NO APTÉ	indicadors visuals de nivell	NO	SÍ	
NO APTÉ	sondes de temperatura	NO	SÍ	
NO APTÉ	purificadora	NO	SÍ	
NO APTÉ	Caldera	NO	NO	adquireix altes temperatures i suporta altes pressions que (dificultat amb impressió 3D)

Taula 8.3: Llistat i selecció dels elements propis del sistema de combustible. Font pròpia

Valoració final	sistema hidràulic	Possible impressió	Peça no-estructural	Comentaris
APTE	intercanviador de calor	SÍ	SÍ	s'ofereix l'intercanviador d'una sola peça, evitant punts de soldadura. S'ha de valorar les temperatures a les quals pot arribar, en funció del recorregut i del motor refrigerat (Ta aigua salada = 32 °C)
APTE	canonades	SÍ	SÍ	es poden obtenir formes que s'ajustin a espais concrets
APTE	vàlvules anti-retorn	SÍ	SÍ	Valorar quina vàlvula anti-retorn. En cas de tenir diferents elements/mecanismes, no seria viable.
NO APTÉ	bomba	NO	SÍ	masses elements
NO APTÉ	manòmetre	NO	SÍ	
NO APTÉ	filtre	NO	SÍ	masses elements
NO APTÉ	vàlvules de seguretat	NO	NO	masses elements i solen ser alliberadores d'altres pressions
NO APTÉ	vàlvules de direcció o distribuïdores	NO	SÍ	
NO APTÉ	vàlvules de regulació de pressió i caudal	NO	SÍ	Les vàlvules podrien ser impreses però depèn del mecanisme integrat és viable o no. Considerem que no es viable.
NO APTÉ	sensors de pressió	NO	SÍ	masses elements
NO APTÉ	sensors de posició	NO	SÍ	masses elements

Taula 8.4: Llistat i selecció dels elements propis del sistema hidràulic. Font pròpia

Valoració final	sistema d'aigua potable i aigües brutes	Possible impressió	Peça no-estructural	Comentaris
APTE	col·lector	SÍ	SÍ	
APTE	Colzes canonades	SÍ	SÍ	Pràctic per la realització de colzes amb angles i diàmetres de total llibertat
APTE	embornal (descàrrega per la borda	SÍ	SÍ	
APTE	tapa de registre dels dipòsits / boca de omplert	SÍ	SÍ	tots els dipòsits han de tenir una tapa de registre d'uns 20cm per procedir a la neteja.
APTE	connexió externa omplert de tanc AD	SÍ	SÍ	l'espai de la boca de omplert pot ser estructural i formar part de la coberta. No obstant, la peça per fer la connexió pot ser impresa.
APTE	racor	SÍ	SÍ	
APTE	canonades	SÍ	SÍ	es poden obtenir formes que s'ajustin a espais concrets
APTE	vàlvula anti-retorn	SÍ	SÍ	Valorar quina vàlvula anti-retorn. En cas de tenir diferents elements/mecanismes, no seria viable.
APTE	Clau per a boca de omplert	SÍ	SÍ	
APTE	brides i "abrazaderas"	SÍ	SÍ	
APTE	ventilació de dipòsits	SÍ	SÍ	
APTE	aixeta	SÍ	SÍ	
APTE	dutxa	SÍ	SÍ	
APTE	tanques / dipòsit d'aigua	SÍ	SÍ	Els tancs es troben acoblats a l'estructura de l'embarcació.
APTE	tanc d'aigües brutes	SÍ	SÍ	Els tancs es troben acoblats a l'estructura de l'embarcació.
NO APTÉ	bombes	NO	SÍ	masses elements
NO APTÉ	filtres	NO	SÍ	masses elements
NO APTÉ	manòmetres de pressió	NO	SÍ	
NO APTÉ	tanc hidròfob (a pressió)	NO	NO	Tanc a pressió, no suportable en impressió 3D
NO APTÉ	esterilitzador	NO	SÍ	masses elements
NO APTÉ	escalfador d'aigua / caldera	NO	NO	masses elements i treball a pressió
NO APTÉ	planta de tractament A brutes (no aplica en petites embarcacions)	NO	NO	en el vaixell d'estudi, no aplica

Taula 8.5: Llistat i selecció dels elements propis del sistema d'aigua potable i aigües brutes. Font pròpia

Valoració final	sistema elèctric	Possible impressió	Peça no-estructural	Comentaris
APTE	quadre principal de distribució i protecció	SÍ	SÍ	Es pot fer a mida a partir de l'espai que disposa el vaixell
APTE	quadre generador d'emergència	SÍ	SÍ	Es pot fer a mida a partir de l'espai que disposa el vaixell
APTE	armaris elèctrics	SÍ	SÍ	Es pot fer a mida a partir de l'espai que disposa el vaixell
APTE	Panell dels equips de comunicacions	SÍ	SÍ	Es pot fer a mida a partir de l'espai que disposa el vaixell
APTE	interruptors de circuit	SÍ	SÍ	
APTE	interruptors del panell elèctric	SÍ	SÍ	
APTE	passa cables	SÍ	SÍ	
APTE	llums per a la navegació	SÍ	SÍ	tot i que es poden imprimir, s'ha de valorar el sistema elèctric que porta integrat
APTE	il·luminació interior	SÍ	SÍ	s'ha de valorar el sistema elèctric que porta integrat
APTE	il·luminació exterior	SÍ	SÍ	s'ha de valorar el sistema elèctric. Si es busquen formes concretes és viable imprimir
APTE	il·luminació d'emergència	SÍ	SÍ	s'ha de valorar el sistema elèctric que porta integrat
NO APTÉ	generadors	NO	NO	masses elements i mecanismes
NO APTÉ	transformadors de reducció	NO	NO	referent a il·luminació. Masses elements i mecanismes
NO APTÉ	transformadors de augment de tensió	NO	NO	Referent a la hèlix de proa. masses elements i mecanismes
NO APTÉ	bateries	NO	NO	masses elements i mecanismes
NO APTÉ	carregadors de bateries	NO	NO	masses elements i mecanismes
NO APTÉ	cablejat	NO	NO	
NO APTÉ	proteccions elèctriques (magneto tèrmics, interruptors diferencials, contactes, relés...)	NO	SÍ	
NO APTÉ	fusibles	NO	NO	
NO APTÉ	relés	NO	NO	
NO APTÉ	radar	NO	NO	
NO APTÉ	equip de comunicacions / sistema de navegació (giroscopis, radar, sonar,...)	NO	SÍ	

Taula 8.6: Llistat i selecció dels elements propis del sistema elèctric. Font pròpia

Valoració final	sistema d'aire comprimit	Possible impressió	Peça no-estructural	Comentaris
APTE	Brida (unions canonades)	SÍ	SÍ	Si es tracta d'una peça molt concreta (feta a mida), resulta més econòmic 3D
APTE	acoblaments	SÍ	SÍ	
APTE	penetracions (travessar mampares)	SÍ	SÍ	s'han de valorar les mampares estanques, el material ha de garantir aquesta estanqueïtat.
NO APTÉ	vàlvula d'arrancada (als MMPP)	NO	NO	han de suportar altes pressions
NO APTÉ	canonades	SÍ	NO	han de suportar altes pressions
NO APTÉ	botelles d'aire comprimit (30/14/7 kg/cm ²)	NO	NO	han de suportar altes pressions
NO APTÉ	Colzes de canonades	SÍ	NO	s'ha de valorar la pressió que suporta l'element

Taula 8.7: Llistat i selecció dels elements propis del sistema d'aire comprimit. Font pròpia

Valoració final	equip de fondeig i amarratge	Possible impressió	Peça no-estructural	Comentaris
APTE	barboten	SÍ	SÍ	han de suportar tensions
APTE	escoben	SÍ	SÍ	han de suportar tensions
APTE	caixa de cadenes	SÍ	SÍ	No aplica en aquest vaixell
APTE	bita, gatera, cornamusa, bolardo	SÍ	SÍ	tenir en compte la tensió que han de suportar
APTE	amortiguador d'amarratge	SÍ	SÍ	
APTE	escut protector de proa	SÍ	SÍ	Es tracta d'un escut protector en recollir l'àncora
APTE	tragacadenas	SÍ	SÍ	
APTE	guarda caps	SÍ	SÍ	
NO APTÉ	molinet	SÍ	NO	Altes tensions. Segons posició de l'eix de gir: chigre (horitz), cabrestant (vert)
NO APTÉ	cadena	SÍ	NO	suporten altes tensions
NO APTÉ	àncores	SÍ	NO	han de tenir un pes considerable, aspecte que la impressió 3D no contempla
NO APTÉ	contrete (primera anella de la cadena)	SÍ	NO	suporta altes tensions
NO APTÉ	grilló (grillete)	SÍ	NO	suporten altes tensions
NO APTÉ	Puntera de proa per a la cadena	SÍ	NO	n'hi ha amb sistemes més complexos (inclou roldana)

Taula 8.8: Llistat i selecció dels elements propis de l'equip de fondeig i amarratge. Font pròpia

Valoració final	altres elements	Possible impressió	Peça no-estructural	Comentaris
APTE	portes	SÍ	SÍ	Les portes per entra a pont i al menjador no són estanques
APTE	escales "metàl·liques" de pañol de popa	SÍ	SÍ	han de passar proves d'aplicar càrregues puntuals
APTE	"escotilla" entrada pañol de popa	SÍ	SÍ	
APTE	portillos (la part exterior, el marc de la finestra)	SÍ	SÍ	el portillo pot estar fet de ABS. Se suposo que va inclòs el cierre para portillo.
APTE	lumbreras de càmera de màquines (la estructura amb l'espai)	SÍ	SÍ	
APTE	taula del menjador	SÍ	SÍ	
APTE	farmaciola	SÍ	SÍ	
APTE	portillo (la part de lumbreras o tragallum)	SÍ	SÍ	Ha de ser un material completament translúcid. Podria ser PET, Prototyper T-Soft (SBS), ABS,
NO APTÉ	bancs del menjador	SÍ	NO	són estructurals, formen part de l casc intern del vaixell

Taula 8.9: Llistat i selecció d'altres elements propis de l'embarcació. Font pròpia

Valoració final	equips per a la navegació	Possible impressió	Peça no-estructural	Comentaris
APTE	Panell de comandament	SÍ	SÍ	el panell es pot fer a mida i disposició del vaixell
NO APTÉ	Canya o roda de govern	NO	NO	
NO APTÉ	Pilot automàtic	NO	SÍ	
NO APTÉ	Girocompàs	NO	SÍ	
NO APTÉ	Axiòmetre	NO	SÍ	indica angles del timó
NO APTÉ	Tacòmetre	NO	SÍ	indica revolucions
NO APTÉ	Clínòmetre	NO	SÍ	indica els graus d'escora
NO APTÉ	Anemòmetre	NO	SÍ	mesura velocitat i direcció del vent
NO APTÉ	Ecosonda	NO	SÍ	mesura la distància de la quilla al fons marí
NO APTÉ	Radar	NO	SÍ	situació de la nau i seguretat
NO APTÉ	Navegador per satèl·lit	NO	SÍ	

Taula 8.10: Llistat i selecció dels elements propis de l'equip per a la navegació. Font pròpia

Valoració final	equips per a la comunicació	Possible impressió	Peça no-estructural	Comentaris
NO APTÉ	VHF (radiotelefònic B-B, B-T)	NO	SÍ	
NO APTÉ	MF, HF (transmissor i receptor alta i mitja freqüència entre estacions de llarga distància)	NO	SÍ	
NO APTÉ	INMARSAT (comunicacions per satèl·lit)	NO	SÍ	
NO APTÉ	Radio balises	NO	SÍ	
NO APTÉ	Vídeo <i>plotter</i> (pantalla gràfica de coordenades)	NO	SÍ	

Taula 8.11: Llistat i selecció dels elements propis de l'equip per a la comunicació. Font pròpia

Valoració final	equips per a la seguretat del vaixell	Possible impressió	Peça no-estructural	Comentaris
NO APTÉ	Equip detector d'incendis	NO	SÍ	
NO APTÉ	Alarma general (abandó del vaixell)	NO	SÍ	
NO APTÉ	Corredera doppler (mesura velocitat)	NO	SÍ	

Taula 8.12: Llistat i selecció dels elements propis d'equips per a la seguretat del vaixell. Font pròpia

ANNEX 4: Base de dades de materials aptes per a fabricació additiva FDM i correlació de la normativa i materials per a impressió FDM

Les dades de materials que es mostren en les següents taules, s'han realitzat principalment a partir d'un programa anomenat CES EduPack. Entre aquest programa i altres eines informàtiques, s'ha mesurat de forma quantitativa o qualitativa aspectes com: la composició del material, propietats generals, propietats mecàniques (mòdul de Young, límit elàstic, resistència a la tracció, elongació, resistència a la fatiga...), propietats tèrmiques (temperatura màxima i mínima de servei, conductivitat tèrmica, capacitat específica de calor), propietats de processament, absorció i permeabilitat, inflamabilitat, durabilitat de fluids i llum UV, reciclabilitat.

Tal com s'ha explicat al treball, a partir de la base de dades i dels requisits propis de les normatives aplicades, s'ha creat una taula que indica de forma automàtica si els materials són APTES o NO APTES per a ser emprats per a la funció establerta.

Com és de suposar, cada element té uns requisits. En aquest annex es mostren els requisits per a la reixeta, el passa casc i l'aixeta de fons.

En cas que els requisits canviïn, s'han de canviar els valors en aquesta base de dades i es generaria el nou resultat, marcant les caselles verdes com a APTES i vermelles com a NO APTES.

reixeta de mar, passa casc i aixeta de fons		(elements 1, 2, 3)																											
resistència a la tracció (60MPa)		no apte	no apte	no apte	no apte	no apte	no apte	no apte	no apte	no apte	APTE	no apte	APTE	no apte	APTE	APTE	APTE	no apte	no apte	no apte	no apte	APTE	APTE	no apte	APTE	APTE	APTE	APTE	
	total resistència a la tracció	no apte		no apte		no apte		no apte		APTE		APTE		APTE		APTE		no apte		no apte		APTE		APTE		APTE		APTE	
Mòdul de elasticitat en la flexió (2700 Mpa)		no apte	APTE	no apte	APTE	no apte	no apte	no apte	no apte	APTE	APTE	no apte	no apte	no apte	APTE	APTE	APTE	no apte	no apte	no apte	no apte	APTE	APTE	APTE	APTE	APTE	APTE	APTE	
	total mòdul elàstic	APTE		APTE		no apte		no apte		APTE		no apte		no apte		APTE		no apte		no apte		APTE		APTE		APTE		APTE	
temperatura màxima de servei (60)		APTE	APTE	APTE	APTE	APTE	APTE	APTE	no apte	no apte	APTE	APTE	APTE	APTE	APTE	APTE	APTE	no apte	APTE	APTE	APTE	APTE	APTE	APTE	APTE	APTE	APTE	APTE	
	total temp màx	APTE		APTE		APTE		APTE		no apte		APTE		APTE		APTE		APTE		APTE		APTE		APTE		APTE		APTE	
temperatura mínima de servei (-40)		APTE	no apte	APTE	no apte	APTE	no apte	no apte	no apte	no apte	APTE	no apte	APTE	APTE	APTE	APTE	APTE	APTE	no apte	APTE	APTE	APTE	APTE	no apte	no apte	no apte	APTE	no apte	
	total temp min	APTE		APTE		APTE		no apte		no apte		APTE		APTE		APTE		APTE		APTE		APTE		no apte		APTE		APTE	
radiació UV		APTE		no apte		no apte		APTE		APTE		no apte		no apte		APTE		APTE		no apte		APTE		no apte		APTE		APTE	
corrosió																													
oxidació																													
Resistència a l'impacte (9kJ/m ²)																													
TOTAL		no apte		no apte		no apte		no apte		no apte		no apte		APTE		APTE		no apte		no apte		APTE		no apte		APTE		APTE	

Capítol: ANNEXOS

ANNEX 5: Canonades amb termoplàstics: pressions permissibles i límits de temperatura

Table 7 Thermoplastic pipes. Permissible pressures and temperature limits

Material	Nominal pressure 1) PN [bar]	Permissible working pressure [bar]						
		-20 to 0°C	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C	80°C
PVC	10		7.5	6				
	16		12	9	6			
ABS	10	7.5	7.5	7	6			
	16	12	12	10.5	9	7.5	6	
HDPE	10	7.5	6					
	16	12	9.5	6				
1) According to recognised standards for water supply on shore.								

ANNEX 6: UNE EN ISO 10224:2002: colzes de canonades

Tipus i dimensions dels accessoris

- **Generalitats:** els accessoris emparats pels requisits d'aquesta norma europea són els colzes de curvatura uniforme, els colzes angulars i tes, les dimensions dels quals han de ser conforme als següents criteris.
 - Colzes de curvatura uniforme de 90°:
 - Per les aplicacions generals, les dimensions dels colzes de curvatura uniforme, formats per manipulació de canonades, per tubs amb diàmetres exteriors entre 26,9 i 323,9 mm ha de ser com a mínim les indicades a la Taula 8.13. El comprador és qui especifica el diàmetre exterior, l'espessor i l'angle del colze.
 - El radi de curvatura i la longitud recta mínima també són requisits que es mostren al punt 7.8.2 de la EN 10224:2002

Canonada		Colze	
Diàmetre	Espessor mínim	R	S mín
D	T		
26,9	2,6	10	100
33,7	2,6	125	100
42,4	2,9	160	125
48,3	2,9	200	125
60,3	3,6	250	150
76,1	3,6	325	150
88,9	4,0	400	150
114,3	4,5	500	150
139,7	4,5	625	190
168,3	4,5	750	225
219,1	5,0	1000	300
273	6,3	1250	375
323,9	7,1	1500	450

Taula 8.13: Dimensions dels colzes amb curvatura uniforme. Canonades de diàmetre de 26,9mm a 323,9mm inclosos. Font: EN 10224:2002

- Colzes angulars:
 - Els colzes angulars han de ser, el diàmetre, l'espessor, el tipus, l'angle i les dimensions de longitud, han de ser acordats entre el comprador i el fabricant. Normalment, els colzes s'especifiquen amb angles de 11, 15°, 22°, 30°, 45° i 90°, però el valor de l'angle pot ser qualsevol valor requerit pel comprador.
 - El material per a canonades i accessoris ha de ser de classe A1¹⁷ i han de subministrar-se sense protecció si no s'especifica al moment de sol·licitar la demanda (veure EN 10224:2002, Capítol 13).
- Tipus d'assajos:
- Els colzes han de ser assajats en condició de canonada i han de sotmetre's a un assaig de tracció segons 10.2.1, un examen visual 10.6 i un control dimensional 10.7.
 - L'assaig de tracció s'ha d'efectuar segons la EN 10002-1 y s'ha de determinar:
 - La resistència a la tracció (Rm)
 - El límit elàstic superior (ReH)
 - L'allargament total després de la ruptura
 - L'examen visual fa referència que els accessoris han d'estar lliures de defectes superficials interns i externs que puguin ser detectats per inspecció visual segons indica la norma europea. En cas d'haver-hi imperfeccions, aquestes es poden eliminar amb un mecanitzat, sempre controlant l'espessor de la peça.
- Característiques mecàniques
- El límit elàstic aparent mínim, l'interval de resistència a la tracció i l'allargament mínim pels colzes ha de ser conforme la següent Taula 8.14.

¹⁷ Conforme a la decisió de la Comissió 96/603/CEE de 4 d'octubre de 1996, el material és de classe A1 i per tant no és necessari sotmetre'l a un assaig de reacció al foc.

Designació simbòlica de l'acer	Resistència a la tracció R _m MPa	Límit elàstic		Allargament		Diàmetre per a l'assaig sobre la soldadura
		aparent mínim Re ^a		mínim		
		(MPa)	per	A %		
espessors en mm						
		T≤16	T>16	l ^b	t ^b	
1235	360 a 500	235	225	25	23	3T
1275	430 a 570	275	265	21	19	4T
1355	500 a 650	355	355	21	19	4T

^a R_c ha de ser R_{dl}, veure apartat 10.2.2.

^b l=longitudinal

t=transversal

Taula 8.14: Característiques mecàniques. Font: EN 10224:2002

ANNEX 7: Distribució dels instruments més importants del lloc de comandament

Segons la UNE EN ISO 1864:2008 la distribució dels instruments de forma ergonòmica és la que és mostra a la següent taula:

element	controls, instruments de localització i aparells de vigilància	disposició			zona situada a l'avant de la mà	zona visible
		Bb	Tb	MS		
1	comandament principal		X		I	
2	pilot automàtic		X		I	
3	comandament de la espadilla		X		I	
4	comandament del timó de proa		X		II	
5	indicador de l'angle del timó		X			1
6	comandament dels motors principals	X			I	
7	tacòmetre dels motors principals	X				2
8	control del motor principal	X				2
9	control de l'embarcació (alarmes i altres controls)					3
10	radar i altres equips de navegació			X	III	1
11	indicador de la velocitat de gir			X		1
12	sirena				Interruptor de peu	
13	projectors interruptor de peu				II	
14	llums de navegació (comandament i control)			X	II	2
15	comunicacions externes de veu				I	
16	comunicacions internes de veu				I	
17	comandament del mànec del radar		X		III	
18	dispositiu de l'ancla de popa	X			III	
19	velocitat i direcció del vent					3
20	eco sonda					1
21	indicador de la velocitat					2
22	alarma general		X		II	

En la següent figura es mostren les zones de accessibilitat per a una persona asseguda (situada a l'abast de la mà).

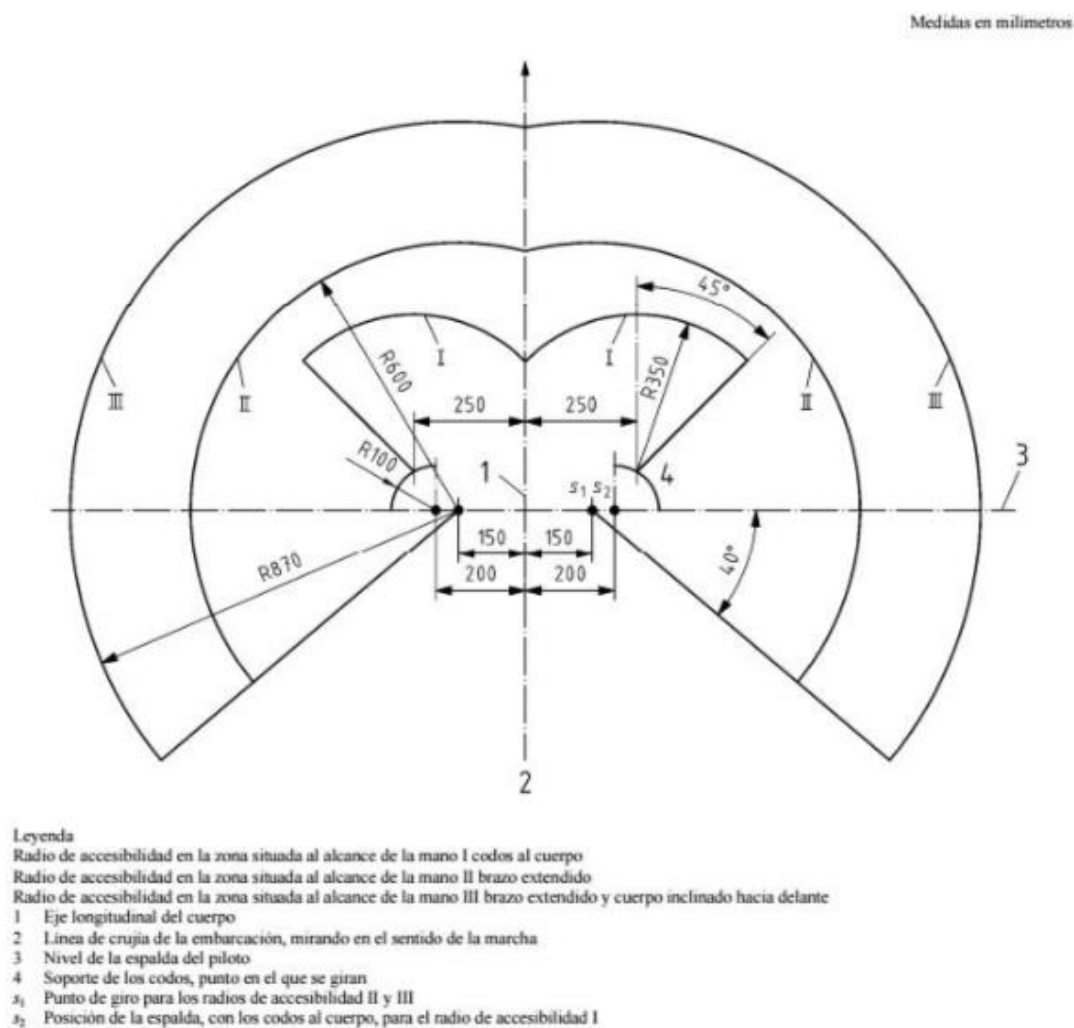
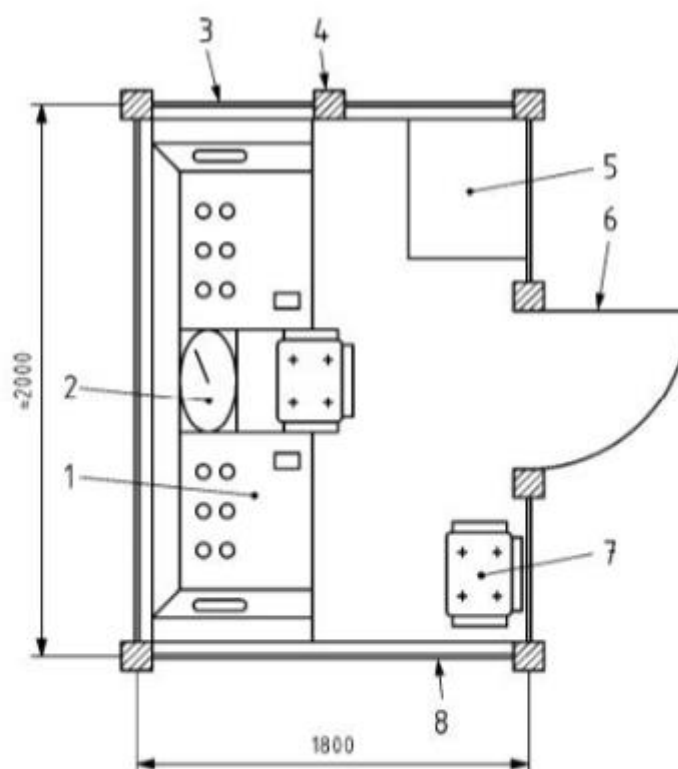


Figura 2 – Zonas de accesibilidad para una persona sentada (situadas al alcance de la mano)

En la il·lustració següent es mostra una possible disposició d'aquest espai:



- Leyenda
- 1 Pupitre de gobierno
 - 2 Radar
 - 3 Salida de socorro
 - 4 Puntales
 - 5 Armario
 - 6 Puerta
 - 7 Asiento
 - 8 Ventana

Figura A.3 – Caseta de gobierno pequeña

ANNEX 8: Estudi de costos de la fabricació additiva

A continuació es mostra detallat el càlcul dels costos d'imprimir peces en fabricació additiva. S'estudien quatre factors importats:

costos		
impresora		35000 €
manteniment	discovery 3D printer	€
consum	variable en el temps	€
consumible	variable peça	€

- Material consumible

La comparació de costos dels diferents materials s'ha fet en base a dades més concretes, és a dir, de materials que es troben actualment en venda. Les dades són pròpies de proveïdors. Es mostren els materials aptes i no aptes per a les peces estudiades en el treball. També es pot observar una columna amb un estudi realitzat amb unes restriccions menors.

Seguidament s'ha fet un estudi més detallat del cost dels materials APTES.

	Primera opció			
materials impressió FDM	referencia	cost	gr bobina	cost/Kg
ABS FP (flame retarded, molding and extrusion)	https://www.formfutura.com/shop/product/abspro-flame-retardant-black-301?category=115&order=name+asc	37,50	500,00	75,00
ABS	https://www.formfutura.com/shop/product/285pabs-natural-1000s-2-85mm-premium-abs-natural-1kg-sale-1434?category=115&order=name+asc	15,95	1000,00	15,95
ABS HI (high impact)	https://filament2print.com/es/abs-especiales/738-abs-hi.html	26,56	750,00	35,41
CPE, CPE+	https://filament2print.com/es/copoliesteres-pet/890-cpe-hg100.html	34,99	750,00	46,65
PLA	https://www.formfutura.com/shop/product/285vpla-wht-0750s-2-85mm-volcano-pla-white-750gr-sale-1206?category=120&order=name+asc	21,90	750,00	29,20
PC (baixa viscositat, emmotllament i extrusió, retard de flama)	https://filament2print.com/es/pc-polycarbonato/661-pc-polycarbonato.html	53,85	750,00	71,80
Nylon (PA) (PA (type 66, flame retarded))	https://www.formfutura.com/shop/product/novamid-id-1030-black-1195?category=182&order=name+asc	48,34	500,00	96,68
Nylon+fibra de carboni (type 66, 30% de fibra de carboni)		65,28	500,00	130,56
PETG	https://www.formfutura.com/shop/product/arnite-id-3040-black-1192?category=119&order=name+asc	39,95	500,00	79,90
TPU	https://www.formfutura.com/shop/product/python-flex-black-1036?category=197&order=name+asc	35,76	500,00	71,52
PEI (Ultem)	https://filament2print.com/es/avanzados/893-pef-fibra-carbono.html	470,69	500,00	941,38
PP (30% fibra de vidre)	https://www.formfutura.com/shop/product/centaur-pp-black-1170?category=198&order=name+asc	100,25	1500,00	66,83
EasyWood - Cedro	https://www.formfutura.com/shop/product/easywood-cedar-213?category=117&order=name+asc	32,95	500,00	65,90

segona opció		selecció			elements			
referencia2	cost	gr bobina4	cost/Kg	mín cost/Kg	1, 2 i 3	1,2 i 3 menys restriccions	4	densidad (Kg/m3)
https://filament2print.com/es/abs-especiales/739-abs-fireproof.html	750,00	32,55	43,40	43,40	no apte	APTE	no apte	1160
				15,95	no apte	APTE	no apte	1020
				35,41	no apte	APTE	no apte	1010
				46,65	no apte	no apte	no apte	1150
				29,20	no apte	no apte	no apte	1210
				71,80	no apte	APTE	APTE	1190
				96,68	APTE	APTE	no apte	1150
https://filament2print.com/es/nylons/797-nylon-fibra-carbono-cf15.html	600,00	55,60	92,67	92,67	APTE	APTE	APTE	1270
				79,90	no apte	APTE	no apte	1260
https://www.bcn3dtechnologies.com/es/3d-printer-filaments/#flexible	750,00	30,99	41,32	41,32	no apte	no apte	no apte	1120
				941,38	APTE	APTE	APTE	1260
				66,83	no apte	no apte	no apte	1100
https://filament2print.com/es/madera-ceramico/764-timberfill-rosewood.html	750,00	44,00	58,67	58,67	#N/A	#N/A	apte	1240

- Cost de la impressora

S'ha estimat que la impressora, tindrà una vida útil de 10 anys. A partir d'aquest moment, és quant caldrà fer més recanvis de parts fonamentals. El cost de la impressora és de 35.000€.

cost de la impressora	Amortització	Hores d'ús	preu (€/hores d'ús)
impresora 35000€	14 anys	28000	1,3
dies laborables en un any (2019)	250 dies		
hores laborables	8 h/dia		

- Cost de manteniment

El manteniment és també rellevant, tot i que no és la part més costosa de la impressió. S'ha de valorar que la màquina ha de tenir un manteniment diari, que es requereixen eines de forma habitual, que es pot espatllar, que hi ha millores al mercat i es poden incorporar nous elements... tots aquests costos de manteniment es consideren en la següent taula.

cost manteniment	període de temps	dies	preu diari
canvi del hotend 80 €	3 anys	1095	0,07
lubricació i neteja de eixos 41 €	4 mesos	124	0,33
neteja del hotend amb nylon 5 €	1 setmana	7	0,70
instal·lació de galgas 25 €	1 anys	365	0,07
actualització de firmware 0		FALSO	
superfície d'impressió 26 €	3 anys	1095	0,02
final de carrera 3 €	1 anys	365	0,01
coberta de la impressora 295 €	4 anys	1460	0,20
barra de pegament 2 €	2 setmana	14	0,14
TOTAL			1,5

- Cost del consum de la impressió

Tot i no ser rellevant econòmicament, el consum és un cost que s'ha de tenir en compte per tal que el cost final sigui el més proper a la realitat.

cost consum	
consum 480 W	
temps d'impressió diari 24 h	
relació €/(kW·h) 0,1359 €/(kW·h)	
IVA 1,21	
TOTAL	1,9 €

ANNEX 9: Fitxa tècnica vàlvula d'esfera TMM

Aquest document ha estat facilitat per Tucai TMM.

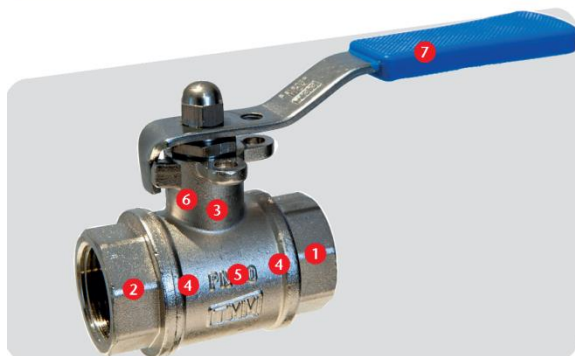


www.tmmannerola.com

Consejos de
instalación, uso
y mantenimiento



PRODUCTO



FITTINGS

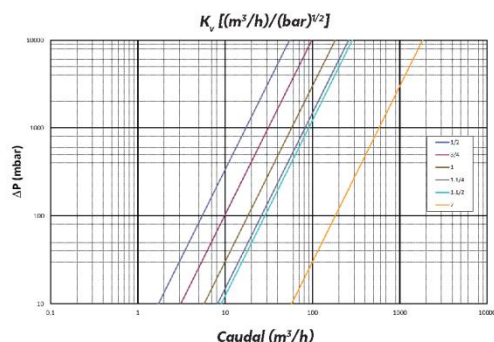


COEFICIENTE DE CAUDAL KV

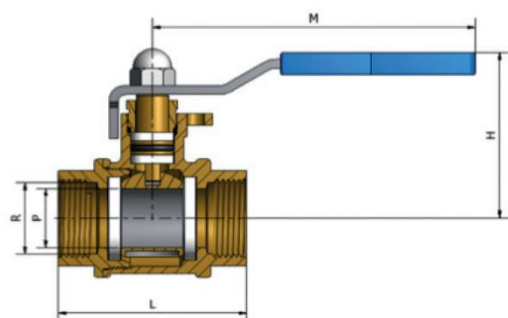
Se denomina "Kv" a la cantidad de metros cúbicos por hora que deben pasar a través de la válvula para generar una pérdida de carga de 1 bar.

A cada medida de válvula le corresponde un valor de Kv.

Medida	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"
$K_v [(m^3/h)/(bar)^{1/2}]$	17	31	58	82	90	577



MEDIDAS PRINCIPALES



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

C-501

MATERIALES

- 1 CUERPO Latón CW617N, según UNE-EN 12165.
 - 2 TAPA Latón CW617N, según UNE-EN 12165.
 - 3 EJE Latón CW617N, según UNE-EN 12164.
 - 4 ASIENTO PTFE válidos para el contacto con agua potable.
 - 5 ESFERA · Cromada
 - Anti cal
 - Anti hielo
 - Anti cal y anti hielo
 - 6 Junta de estanqueidad EPDM
 - 7 MANETAS · Acero inoxidable AISI-304
 - Mariposa de Latón
 - Cuadrado de Latón
- Latón niquelado

PRESTACIONES

PRESIÓN NOMINAL 60bar (PN-60).

TEMPERATURA MÁXIMA 150°C.

TEMPERATURA MÍNIMA -10°C

(anti hielo -30°C); excluida congelación.

Sistema Anti-Fuga en el eje.

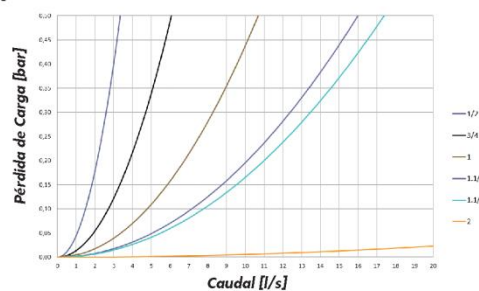
NOTA: Todos los materiales empleados en la fabricación de estas válvulas son adecuados para estar en contacto con agua destinada al consumo humano.

CERTIFICACIONES



DIAGRAMA DE PÉRDIDAS DE CARGA

Definición del diagrama de pérdidas de carga en función del caudal, según la norma EN 1267.



Ref.	Medida R	DN	P	Dimensiones [mm]		
				L	H	M
0201601	1/4"	8	10	47	50	91
0201602	3/8"	10	11,5	48	50	91
0201603	1/2"	15	15	52	53	108
0201604	3/4"	20	20	63	56	108
0201605	1"	25	25	73	63	135
0201606	1 1/4"	32	32	86,5	68	135
0201607	1 1/2"	40	40	96,5	80	155
0201608	2"	50	50	114	88	155
0201609	2 1/2"	65	65	156	117	284
0201610	3"	80	80	182	129	284



ANNEX 10: Fitxa tècnica de la impressora Discovery 3D Printer

S'adjunta fitxa tècnica de al impressora d'estudi que es vol implementar a les Drassanes
Nicolau de Sant Carles de la Ràpita.

Descubre la verdadera
IMPRESIÓN 3D
EN GRAN FORMATO

Discovery 3D Printer

SOLUCIONES DE IMPRESIÓN 3D INDUSTRIAL · Alto rendimiento · Fiabilidad · Ahorro de costes



Discovery 3D Printer

tecnología **FFF**

- > **Productividad industrial con alta calidad**
- > **Gran superficie de trabajo**
- > **Facilidad de uso**
- > **Cama con AUTONIVELADO que compensa automáticamente los pequeños desniveles durante la impresión.**

Capaz de hacer frente a los trabajos más exigentes de la industria 4.0, resiste con fiabilidad procesos productivos de larga duración en la fabricación de piezas y prototipos de gran tamaño. Permite el uso de materiales plásticos técnicos de última generación (estándar 1.75mm). Gracias a su cabezal de extrusión dual es capaz de fabricar piezas y prototipos con soporte removible o utilizar dos colores o materiales diferentes en la fabricación de una misma pieza.



100% Made in Spain

100% diseñada, desarrollada y fabricada en las instalaciones de CNC Bárcenas.



Materiales

Trabajar con PLA, ASA, ABS, PA, HIPS, 3D850, PETG. ABS Medical, ABS Hi...



Mesa

Cámara totalmente cerrada y cama caliente hasta 175° con Autonivelado para los materiales mas exigentes.



Extrusor

Extrusor 450°



Tecnología FFF

Capaz de hacer frente a los trabajos más exigentes de la industria 4.0. Con cabezal de extrusión dual.



Universal

Utiliza todos los materiales del mercado que sigan el estándar 1.75 mm.



Gran Área de Trabajo

Grandes piezas en su gran mesa de trabajo de 1150x800x500 mm (x,y,z).



Software

Cómodo programa con acceso en red para un fácil y sencillo manejo.



Guardabarros moto.
140 x 530 x 200 mm.
*Imprimida por Silence Scutum

Prototipo.
160 x 420 x 40 mm.

Tapa batería.
300 x 260 x 60 mm.
*Imprimida por Silence Scutum

Llave inglesa.
270 x 1000 x 100 mm.

Ventilador.
Ø 700 mm.

Rueda dentada.
Ø 60 mm.

Bloque motor en Premium PLA de 100x60x50 cm. y 5,5 Kg.

Clientes

 Navantia

 SILENCE
URBAN ECOMOBILITY

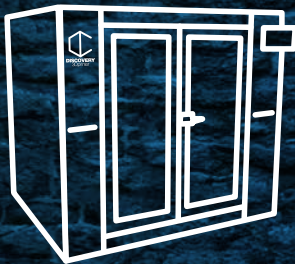
 Graphic Arts

 CAF
SANTANA

B/S/H/

 FAB LAB
FABRICATORIA DE LABORATORIO

 Cryosphaera



especificaciones técnicas

Discovery 3D Printer

Dimensiones

Área de trabajo (X Y Z)	1150x800x500
Medida máxima (+Chiller)	1550x1880x1750

Peso

300 Kg.

Cabina

Cerrada

Mesa

Calefactada hasta 175°
con autonivelado.

Alimentación

240 v

Productividad

Tecnología	FFF
Carga de trabajo	<80 gr/hora
Temp. máx. de extrusión	450°
Velocidad	Hasta 100 mm/s
Grosor capa (mínimo)	0,1 mm

SW

Simplify 3D

Acceso a red

Ethernet

Marcado CE

Si

Garantía piezas defectuosas 2 años



NÚMERO DE REGISTRO INDUSTRIAL
08-A-284-13020079

CONTACTA CON NOSOTROS PARA MAS INFORMACIÓN Y
ESTUDIAREMOS TU CASO DE MANERA PERSONALIZADA


www.discovery3dprinter.com


www.cncbarcenass.com

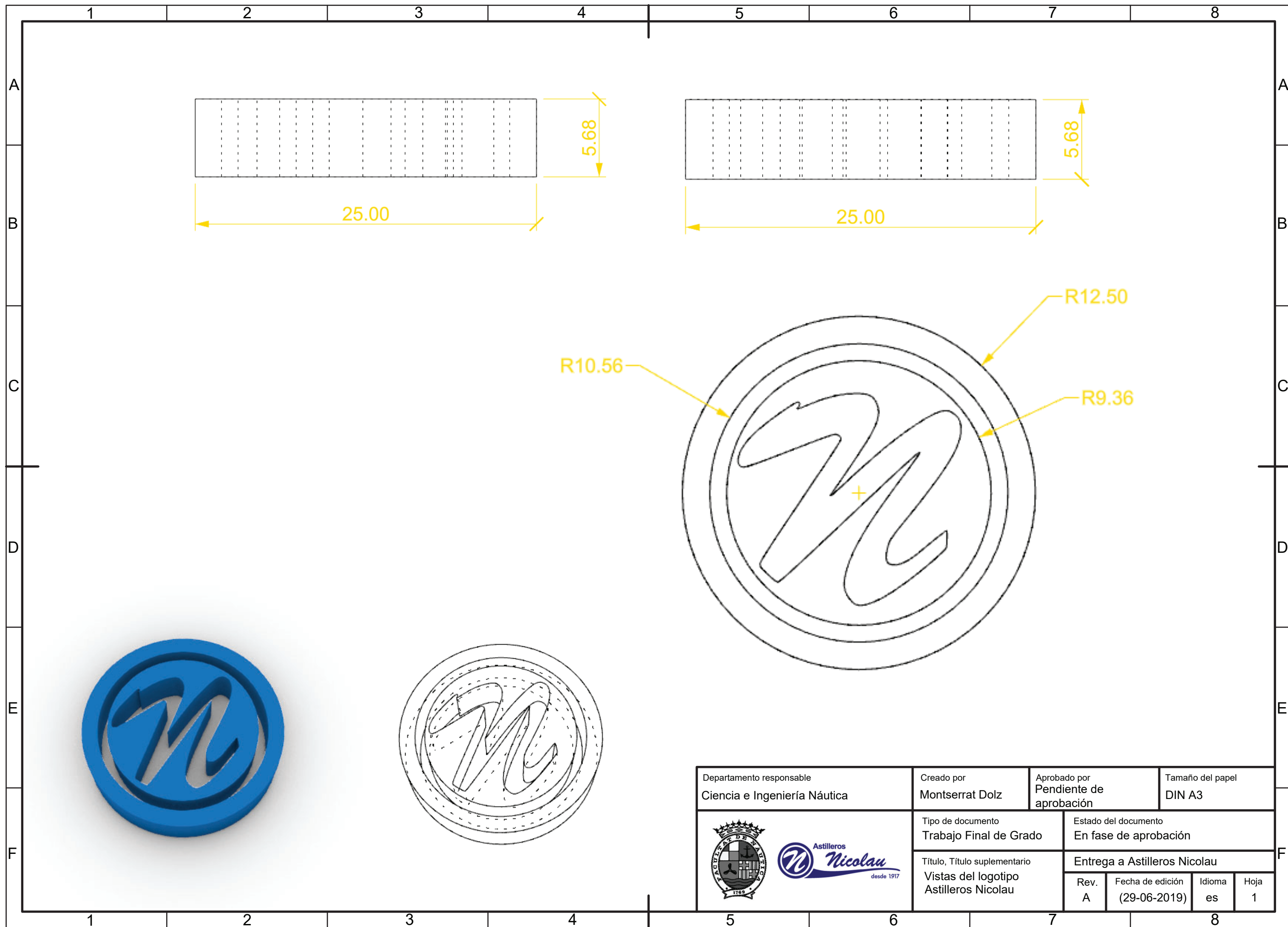
Pol. Industrial Entrecaminos. Avda. de Holanda, 42
13300 Valdepeñas (Ciudad Real) Tel. 926 64 89 85 - 926 31 00 90
info@cncbarcenass.com · info@discovery3dprinter.com

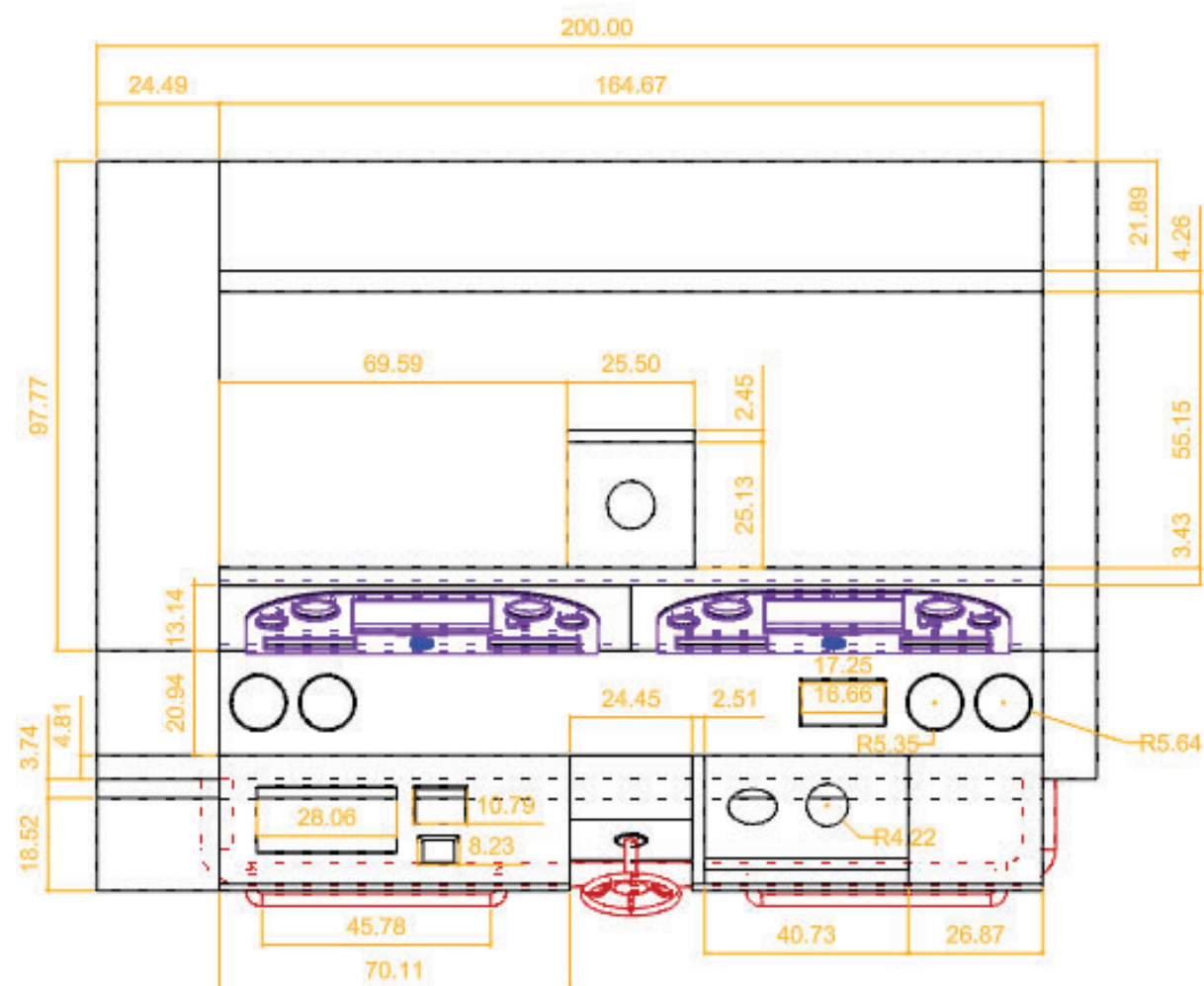
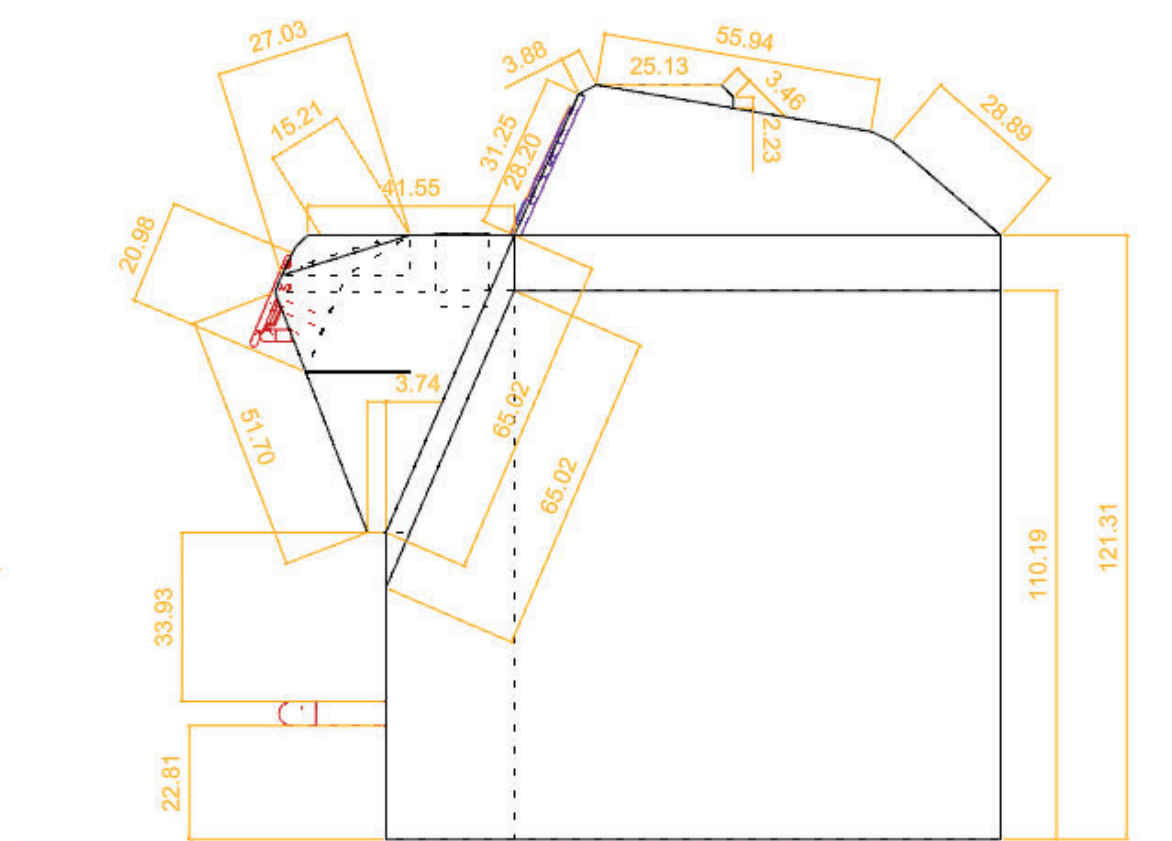
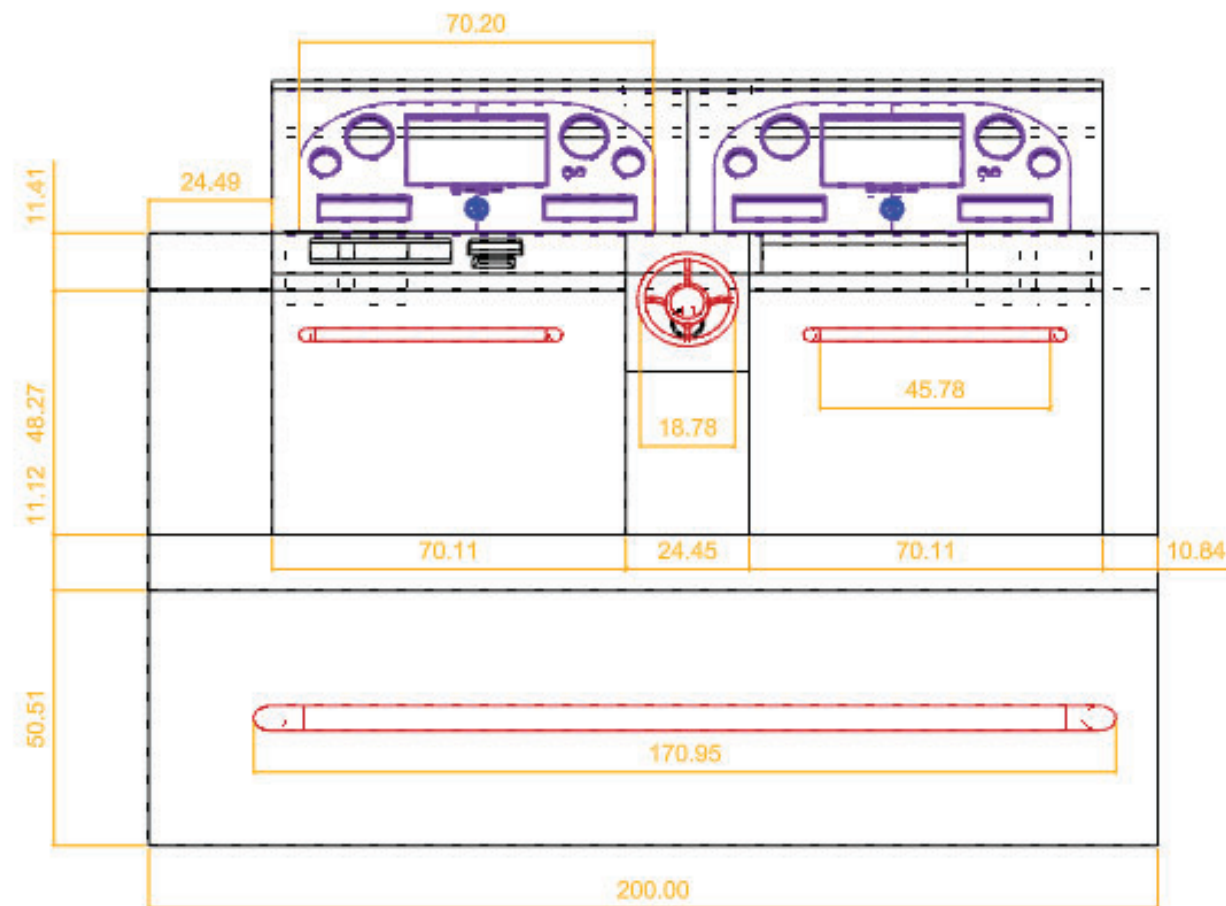
@ Copyright 2019 CNC-Bárcenas-Bellón SL. La información contenida en este documento está sujeta a cambios sin previo aviso. CNC-Bárcenas-Bellón SL. No se responsabiliza de los errores u omisiones técnicos o editoriales que puedan existir en el presente documento. Las condiciones específicas de las garantías se indicarán en el mismo producto en el momento de su venta.



ANNEX 11: PLÀNOLS

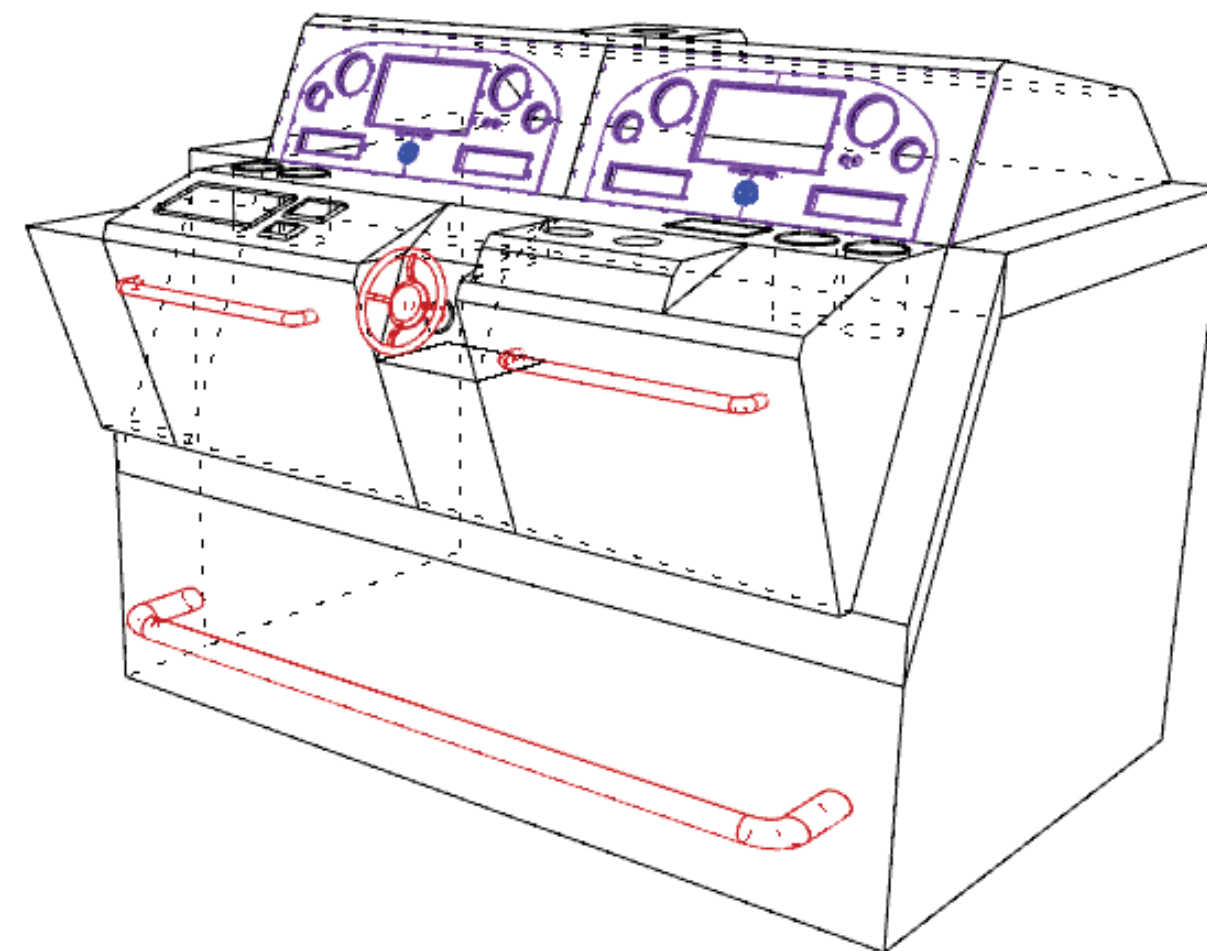
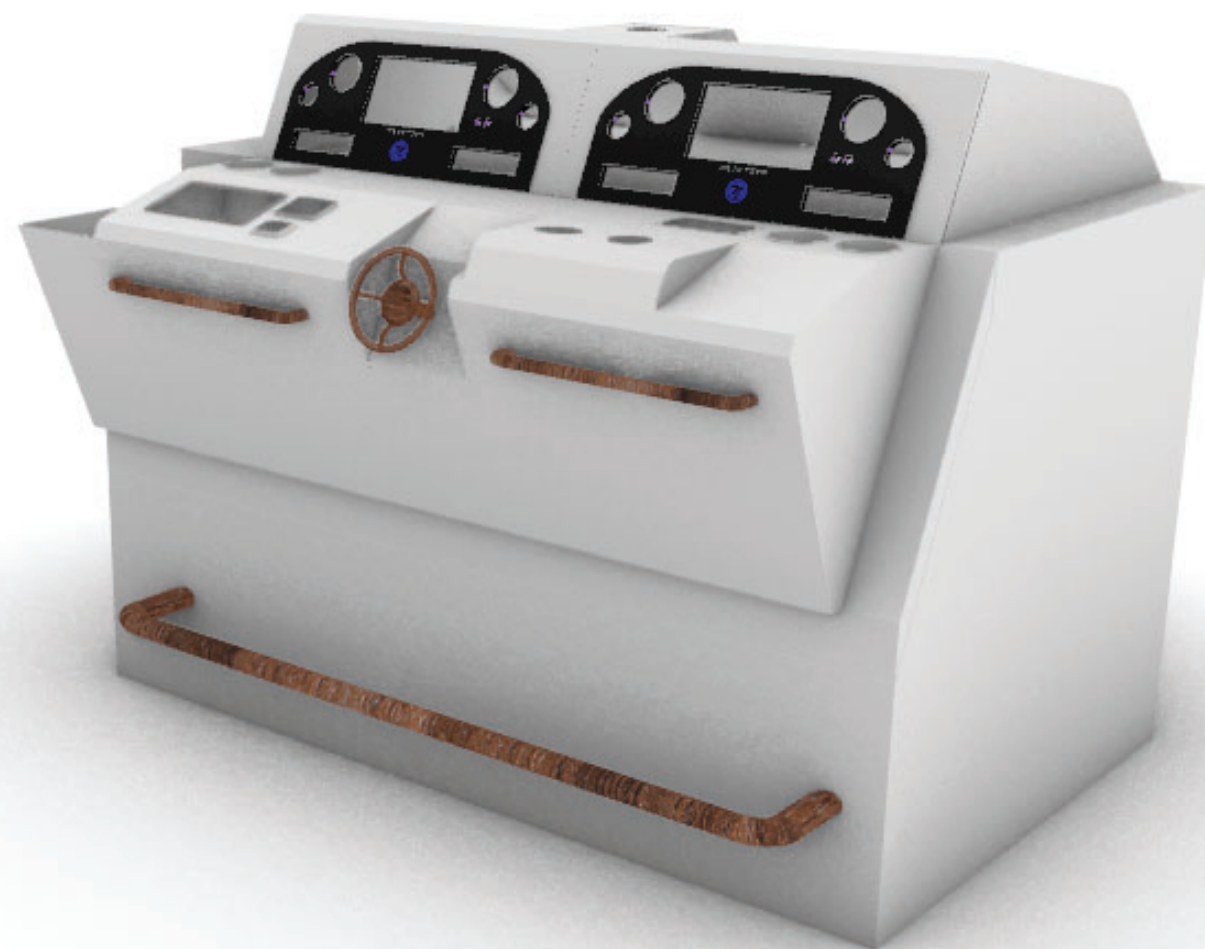
A continuació es mostren els plànols emprats en diferents punts del treball amb les cotes pròpies de la seva funcionalitat.



	PLÀNOLS	Nombre de plànols
Disseny tridimensional del logotip propi de les Drassanes Astilleros Nicolau i vistes del disseny		1
Vistes i renderitzat del comando de pont		2
Vistes i renderitzat de mig comando de pont preparat per a ser imprès en fabricació additiva		3
Vistes i renderitzat del Panell d'elements electrònics de pont (detall d'un element del comando)		2
Vistes del Panell d'elements electrònics amb cotes d'impressió additiva		1
Vistes i renderitzat de l'arc situat sobre el pont		2
Estudi de la estanqueïtat en la fabricació additiva		3

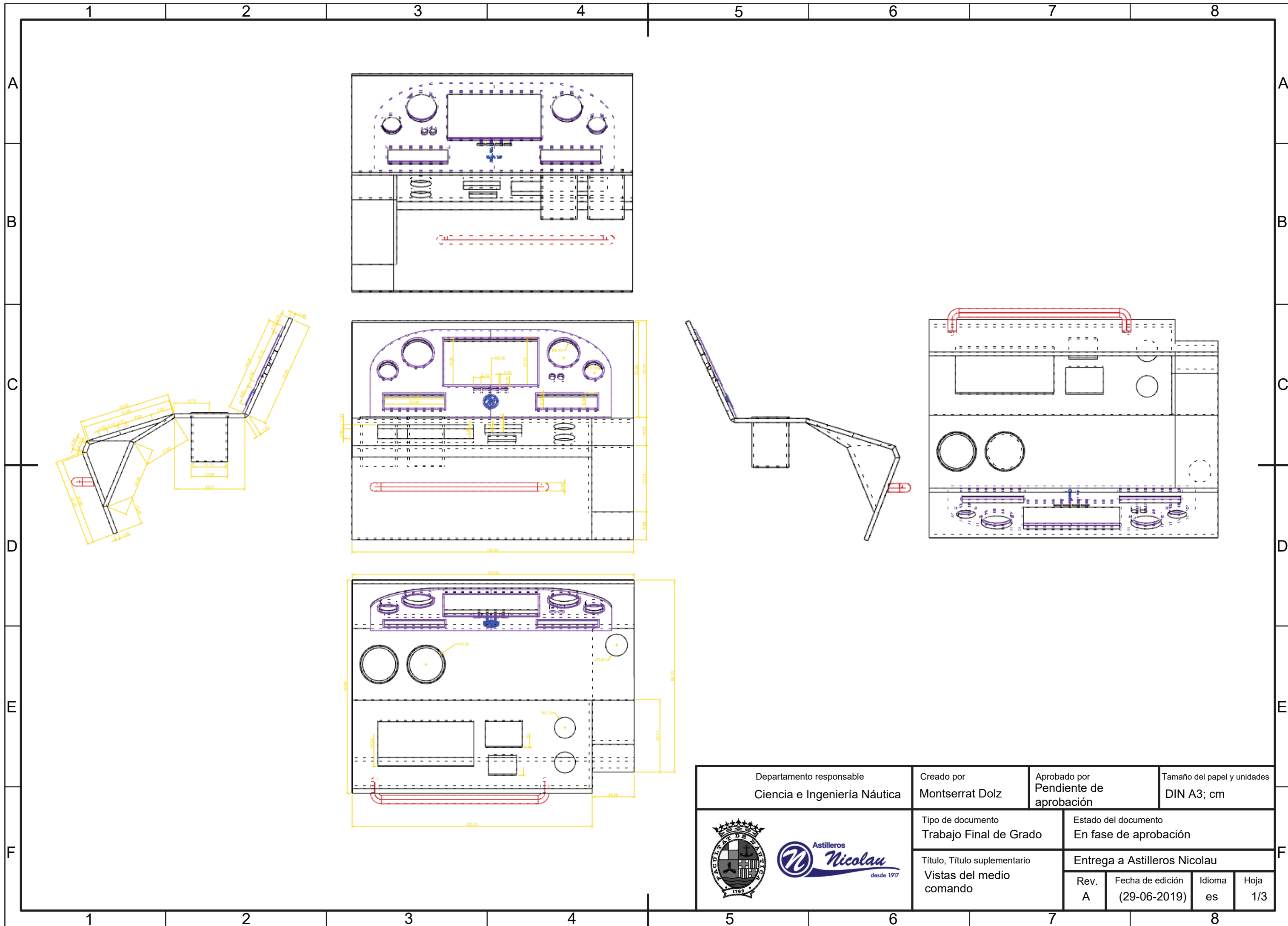


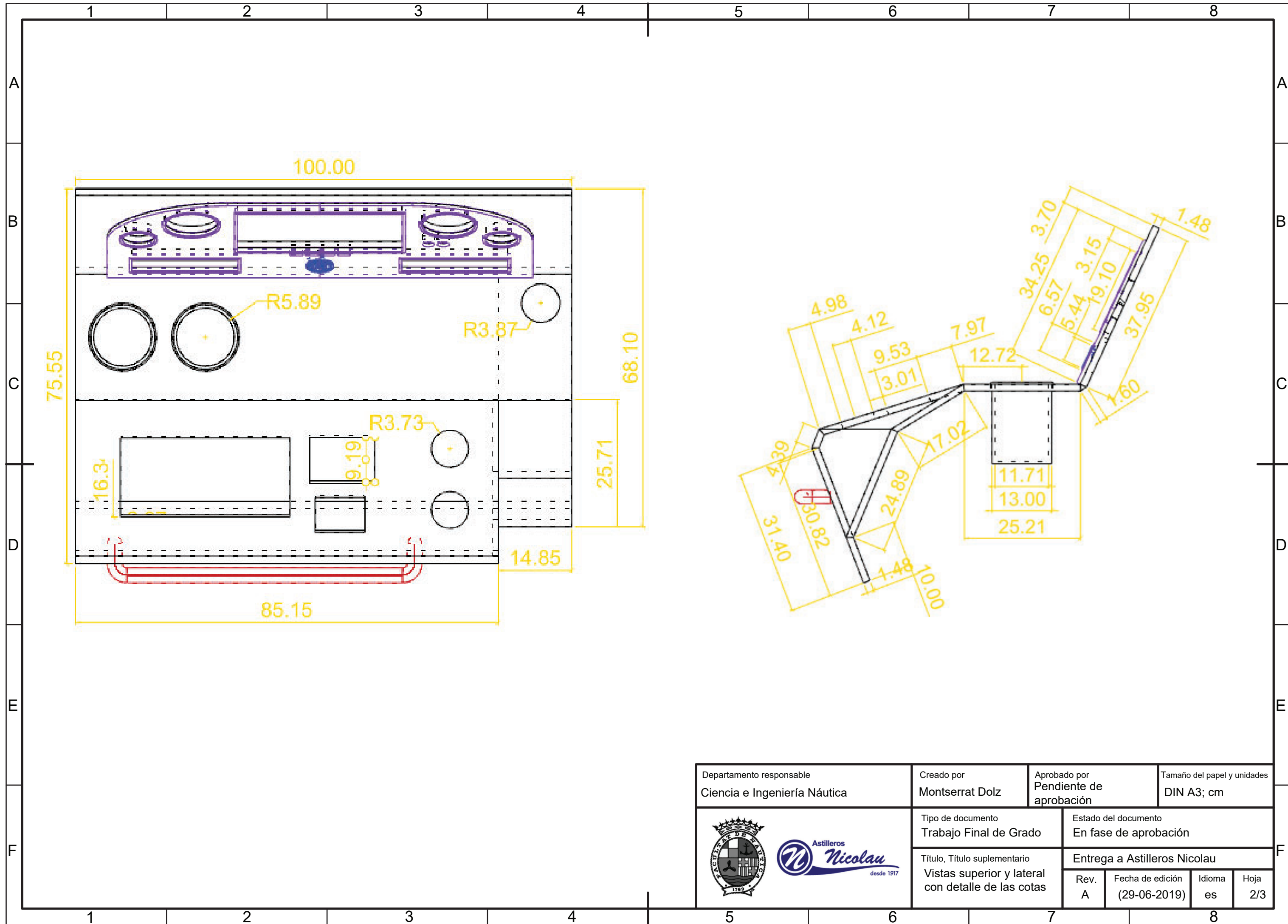


Departamento responsable Ciencia e Ingeniería Náutica	Creado por Montserrat Dolz	Aprobado por Pendiente de aprobación	Tamaño del papel y unidades DIN A3; cm
 	Tipo de documento Trabajo Final de Grado	Estado del documento En fase de aprobación	
	Título, Título suplementario Vistas del comando	Entrega a Astilleros Nicolau	
	Rev. A	Fecha de edición (29-06-2019)	Idioma es
			Hoja 1/2



Departamento responsable Ciencia e Ingeniería Náutica	Creado por Montserrat Dolz	Aprobado por Pendiente de aprobación	Tamaño del papel DIN A3
 	Tipo de documento Trabajo Final de Grado	Estado del documento En fase de aprobación	
	Título, Título suplementario Vistas y renderizado del comando	Entrega a Astilleros Nicolau	
	Rev. A	Fecha de edición (29-06-2019)	Idioma es
			Hoja 2/2





1 2 3 4 5 6 7 8

A

B

C

D

E

F



A

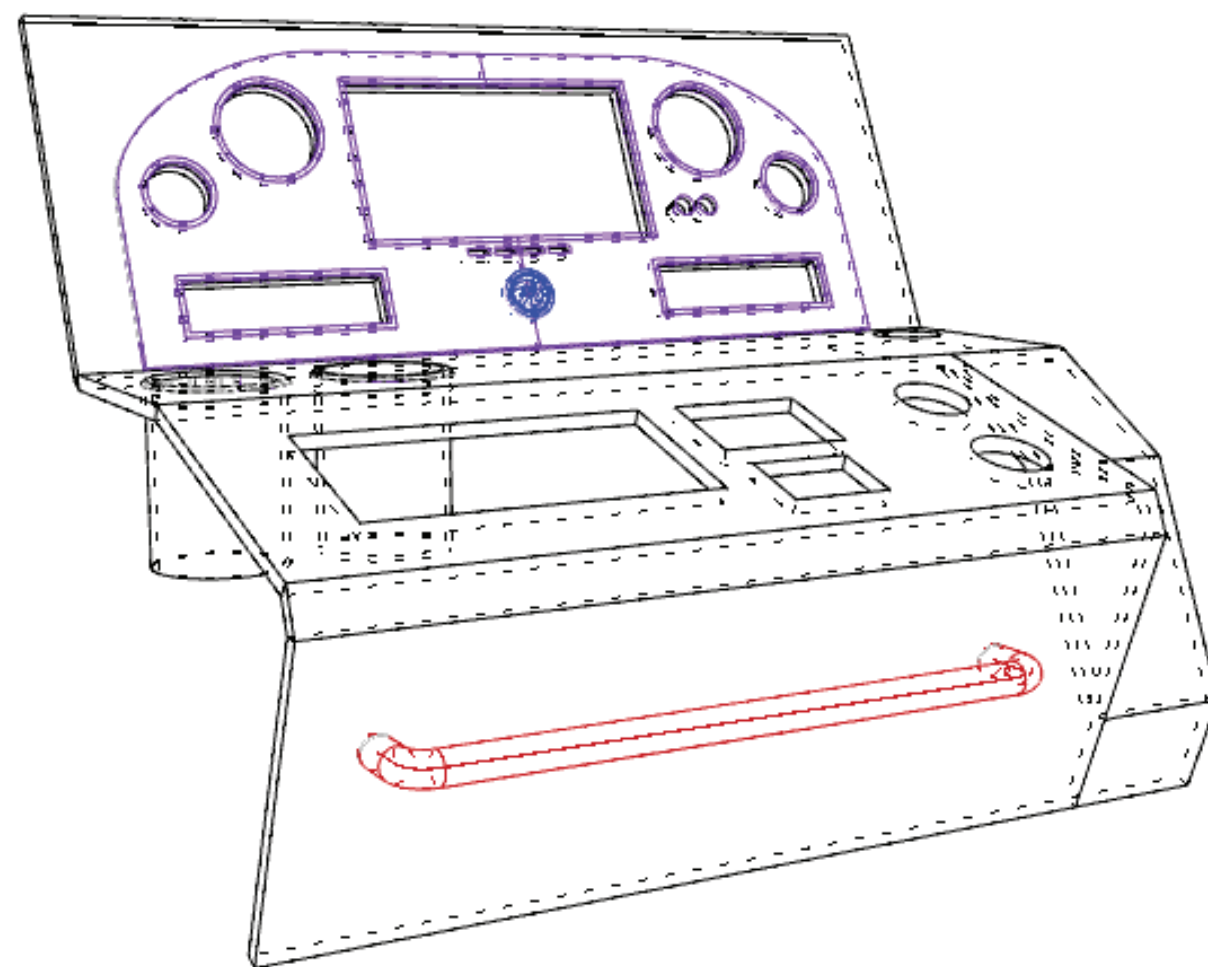
B



C

D

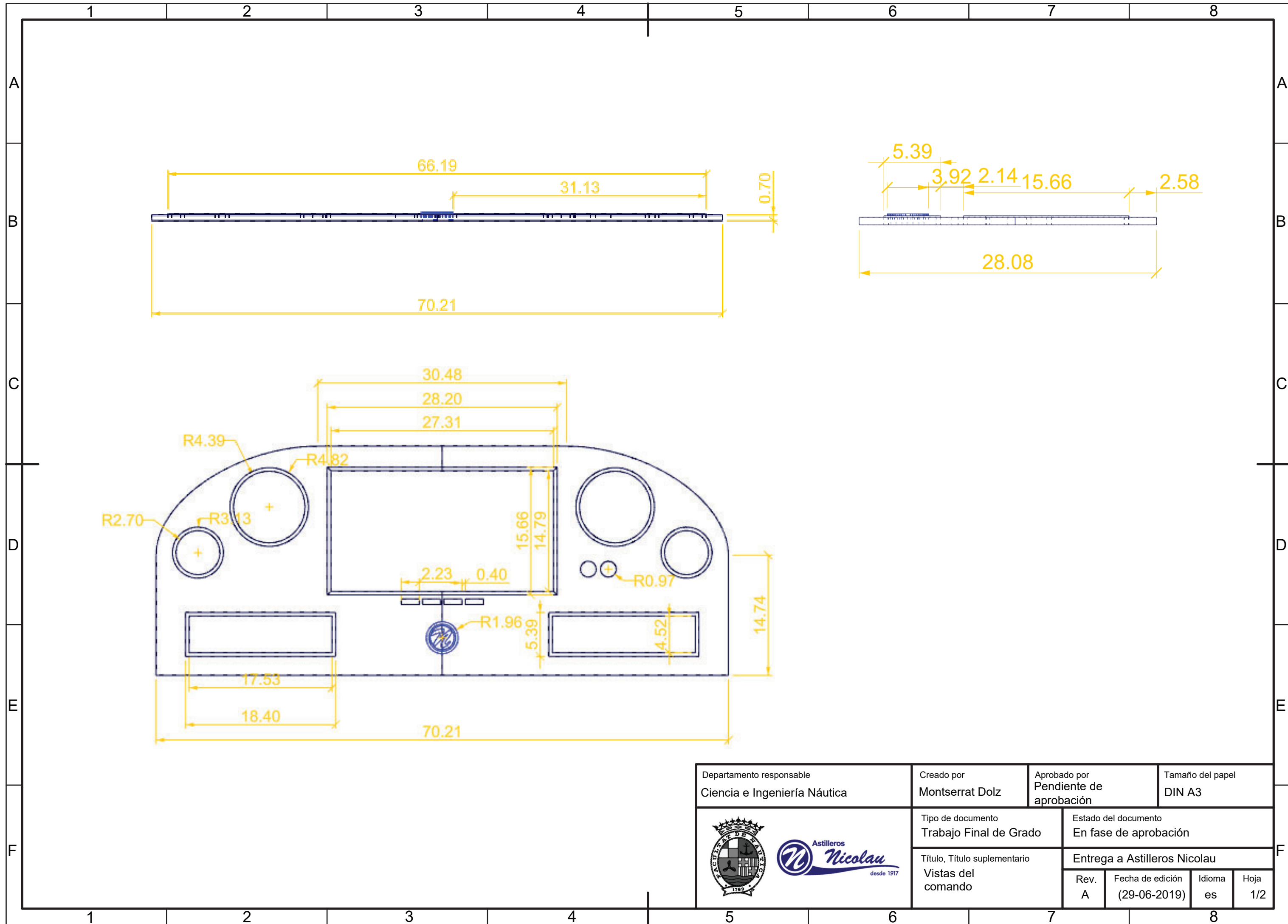
E



F



Departamento responsable Ciencia e Ingeniería Náutica	Creado por Montserrat Dolz	Aprobado por Pendiente de aprobación	Tamaño del papel DIN A3
 	Tipo de documento Trabajo Final de Grado	Estado del documento En fase de aprobación	
	Título, Título suplementario Vistas de medio comando	Entrega a Astilleros Nicolau	
	Rev. A	Fecha de edición (29-06-2019)	Idioma es
			Hoja 3/3

1 2 3 4 5 6 7 8



Departamento responsable Ciencia e Ingeniería Náutica	Creado por Montserrat Dolz	Aprobado por Pendiente de aprobación	Tamaño del papel DIN A3
 	Tipo de documento Trabajo Final de Grado		Estado del documento En fase de aprobación
	Título, Título suplementario Vistas del comando		Entrega a Astilleros Nicolau
	Rev. A	Fecha de edición (29-06-2019)	Idioma es Hoja 1/2

1 2 3 4 5 6 7 8

A

B

C

D

E

F

A

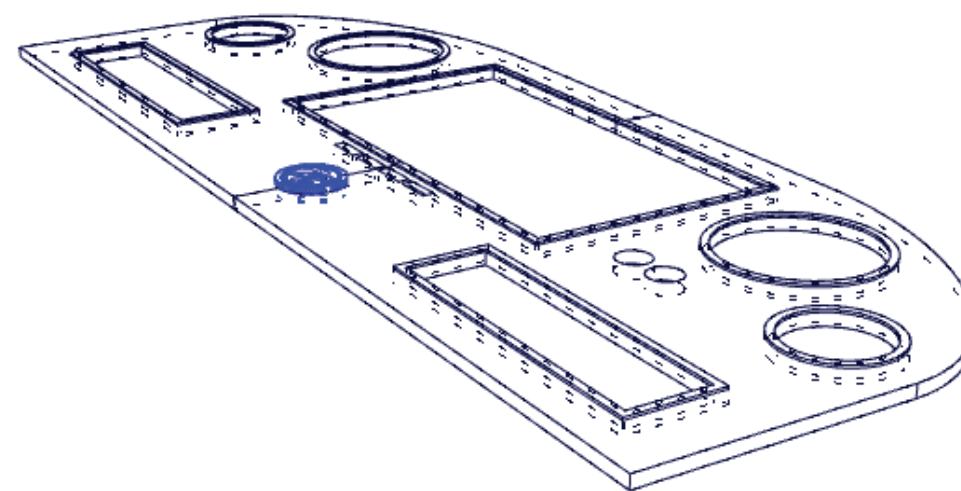
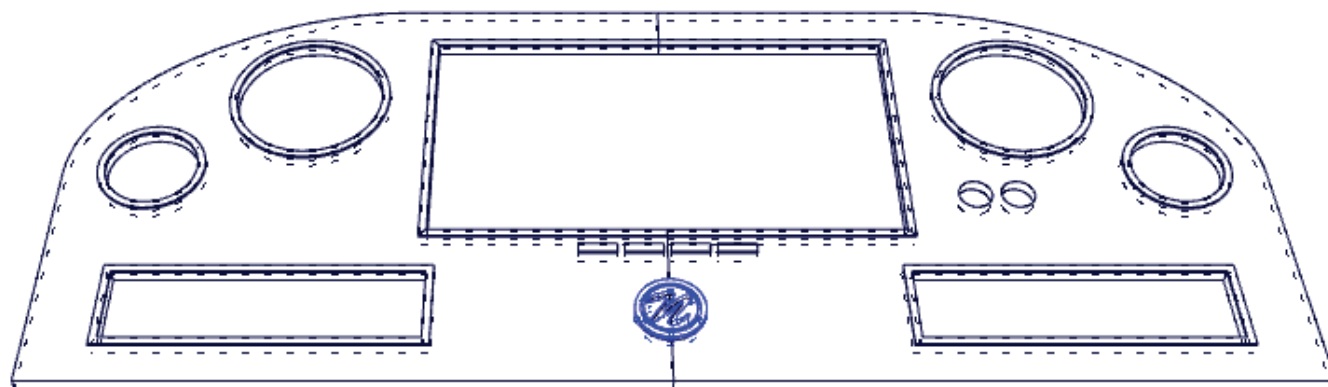
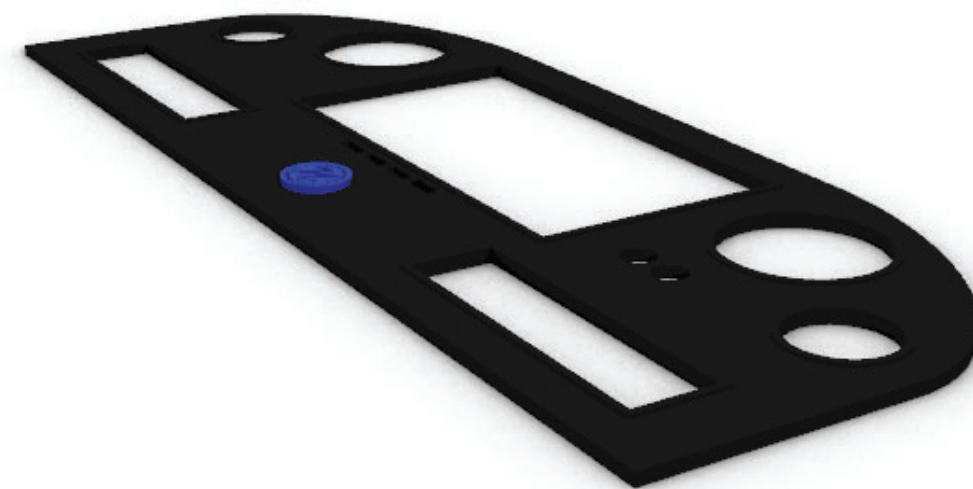
B



C

D

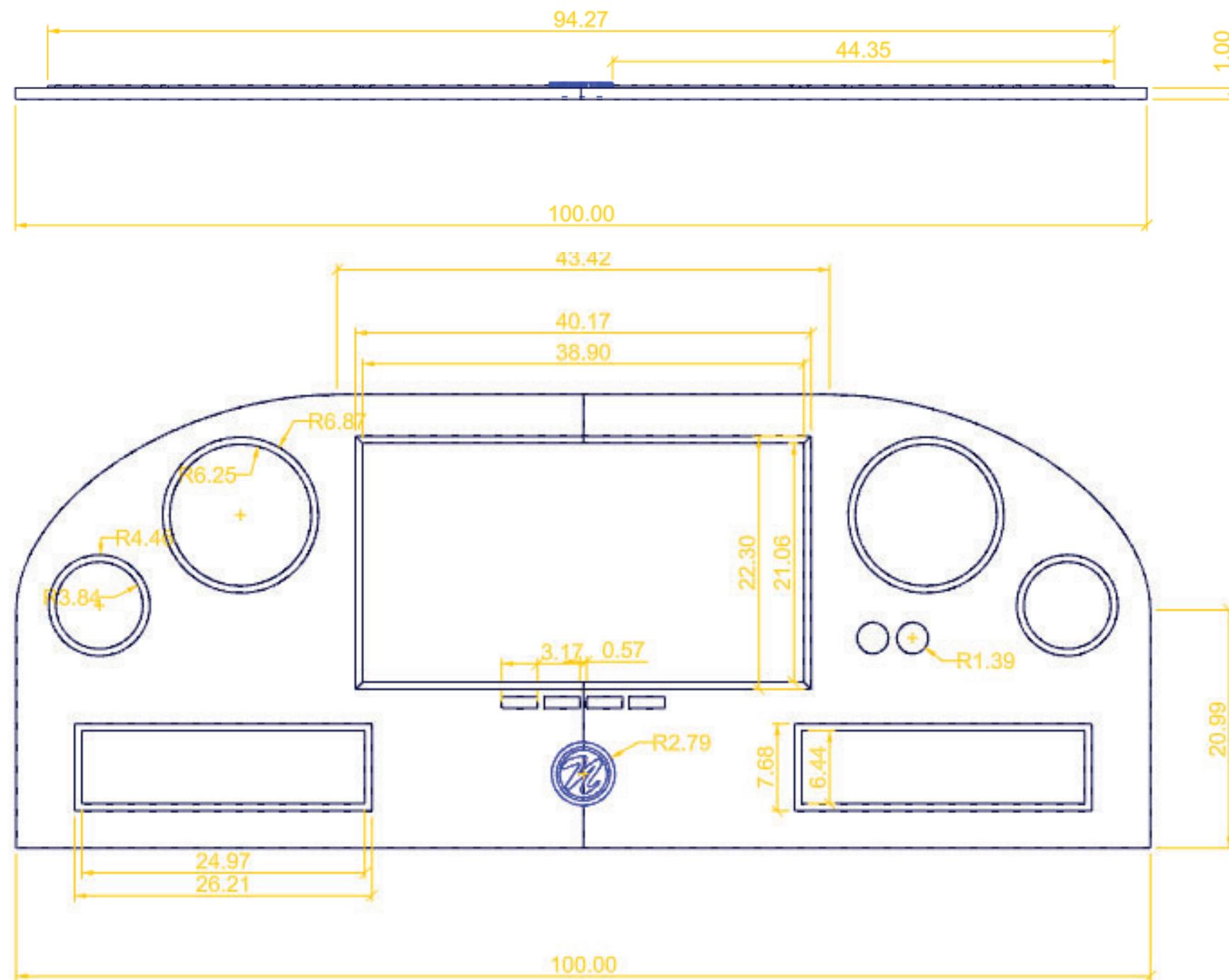
E



F

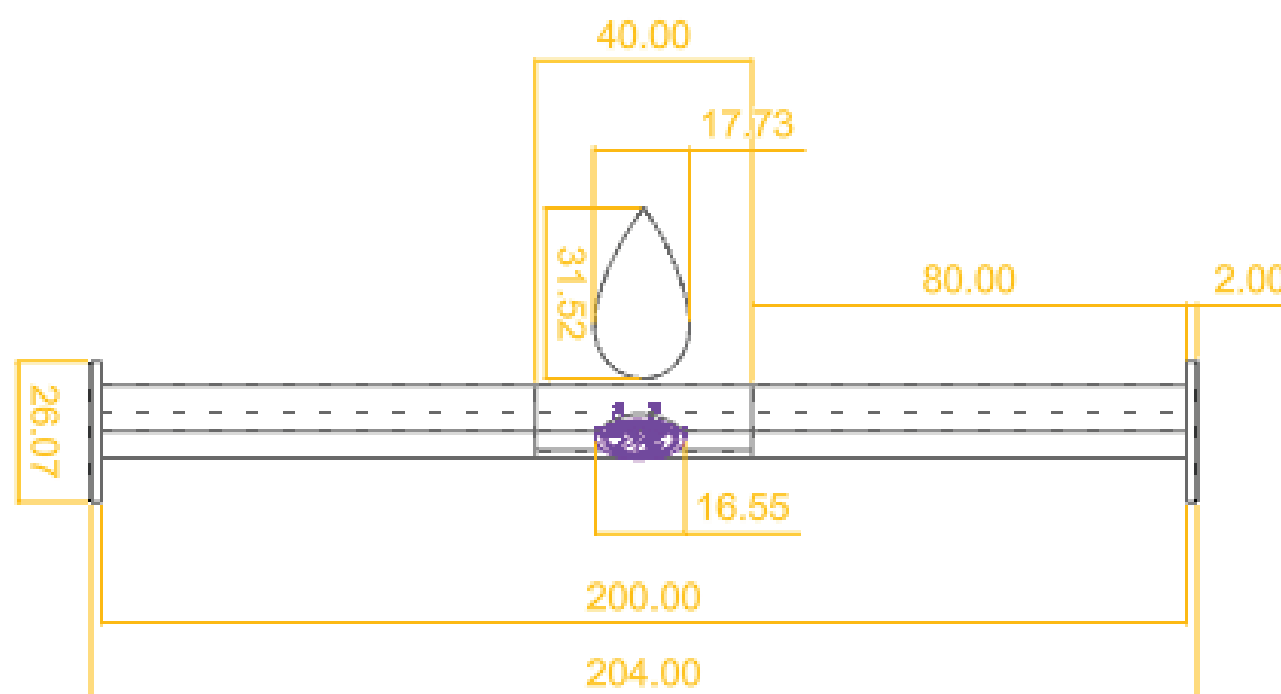
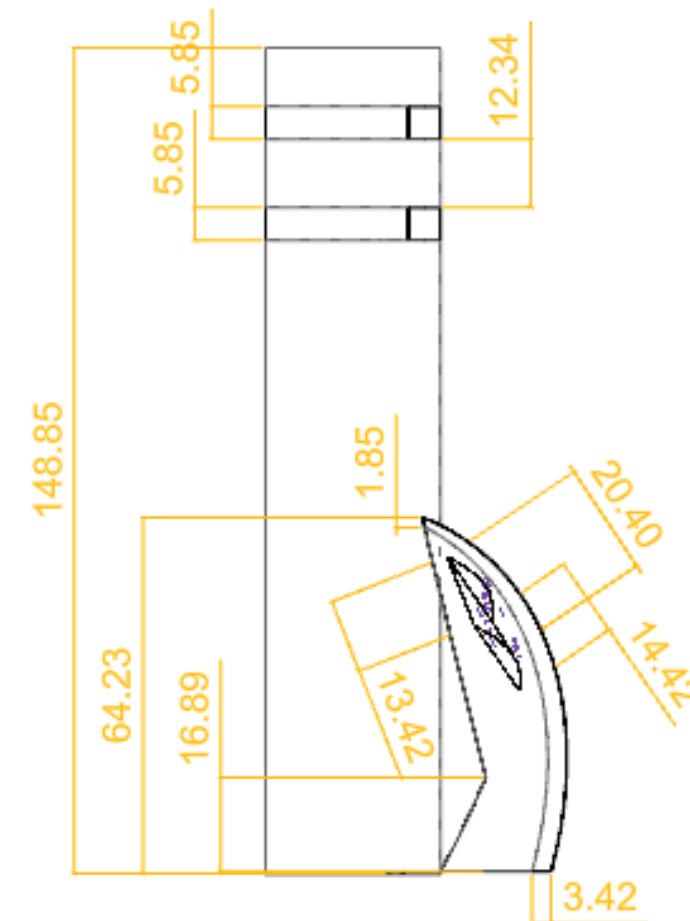
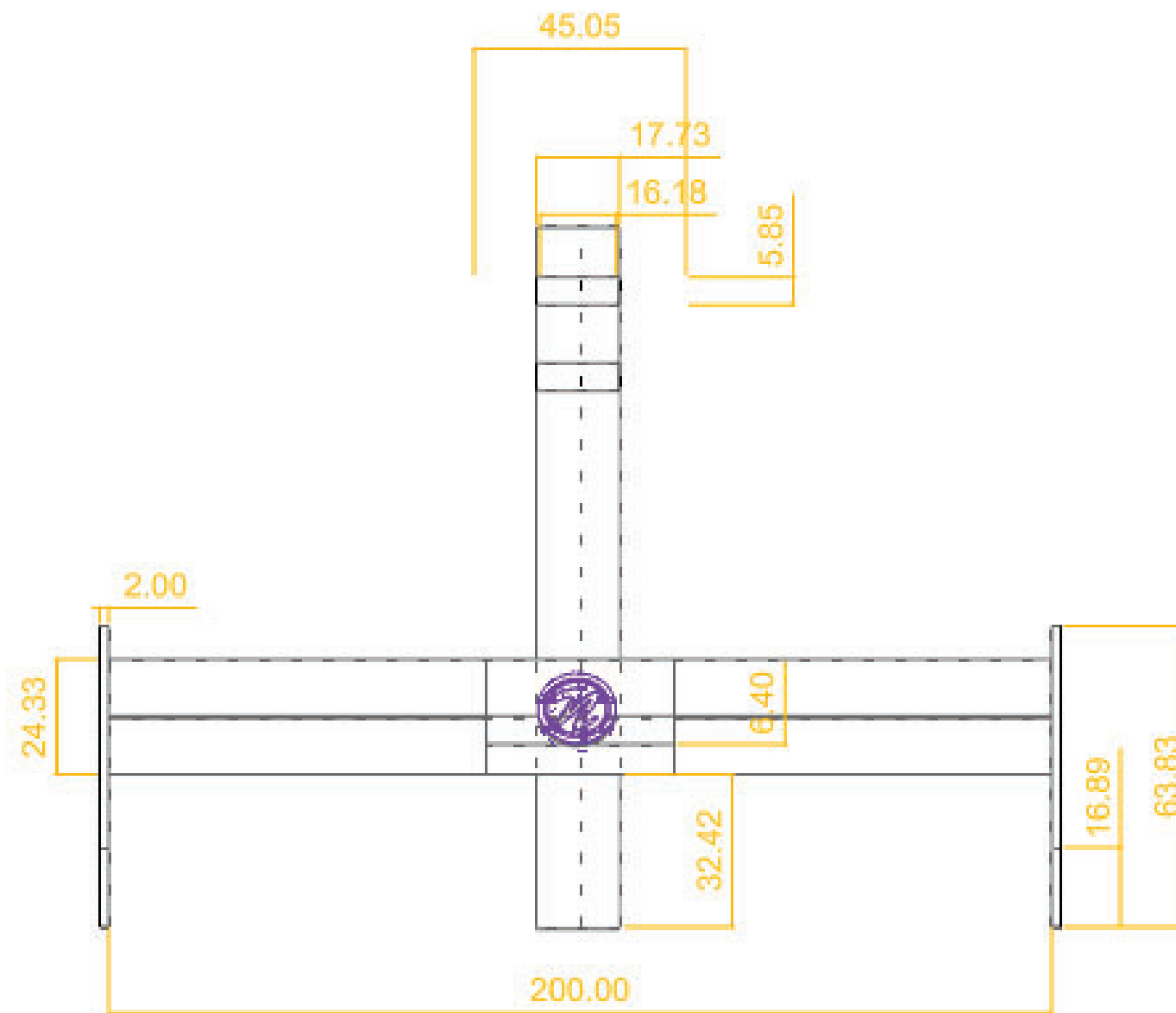




Departamento responsable Ciencia e Ingeniería Náutica	Creado por Montserrat Dolz	Aprobado por Pendiente de aprobación	Tamaño del papel DIN A3
 	Tipo de documento Trabajo Final de Grado	Estado del documento En fase de aprobación	
	Título, Título suplementario Vistas y renderizado del comando	Entrega a Astilleros Nicolau	
Rev. A		Fecha de edición (29-06-2019)	Idioma es
		Hoja 2/2	

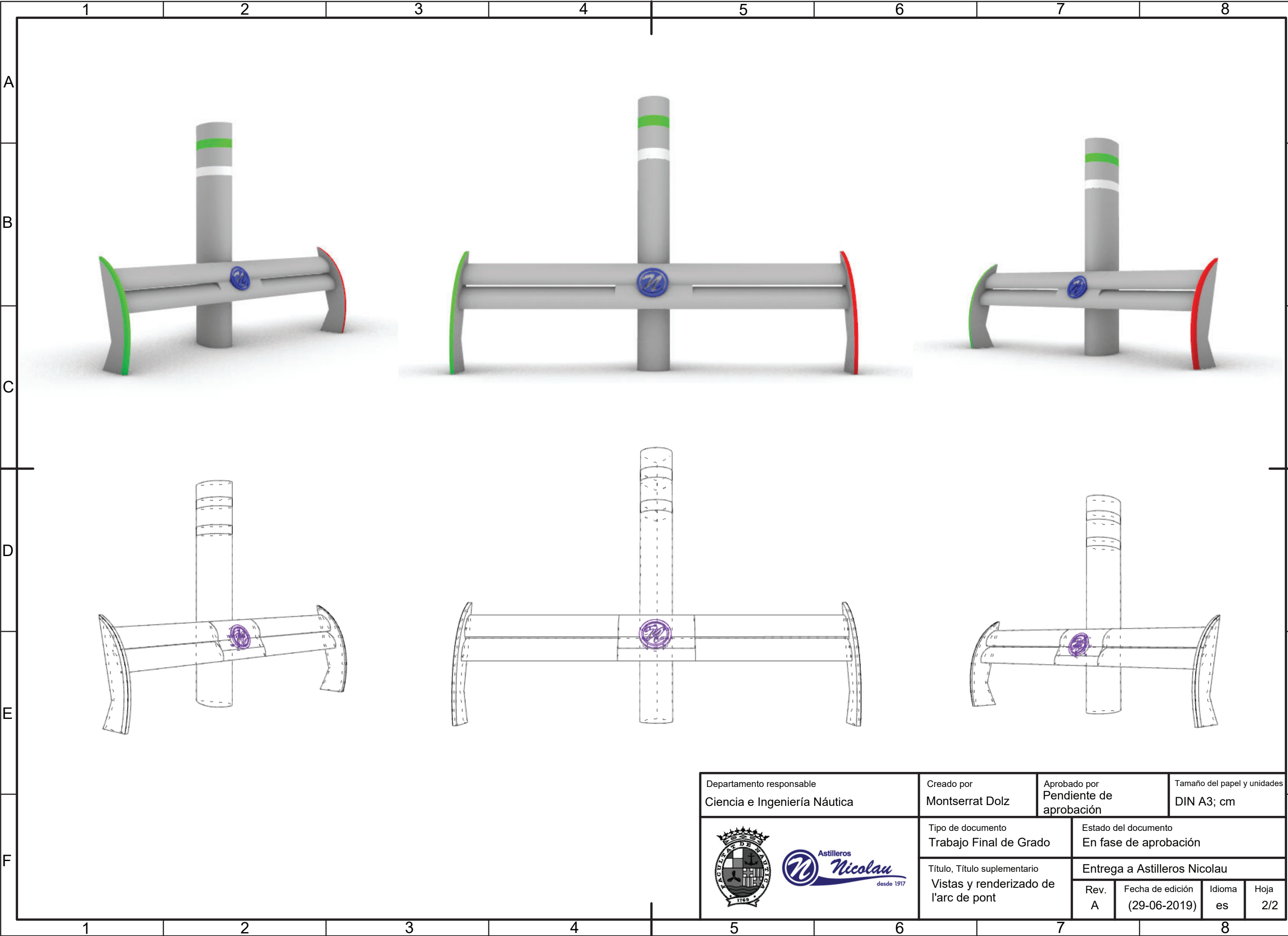
1 2 3 4 5 6 7 8





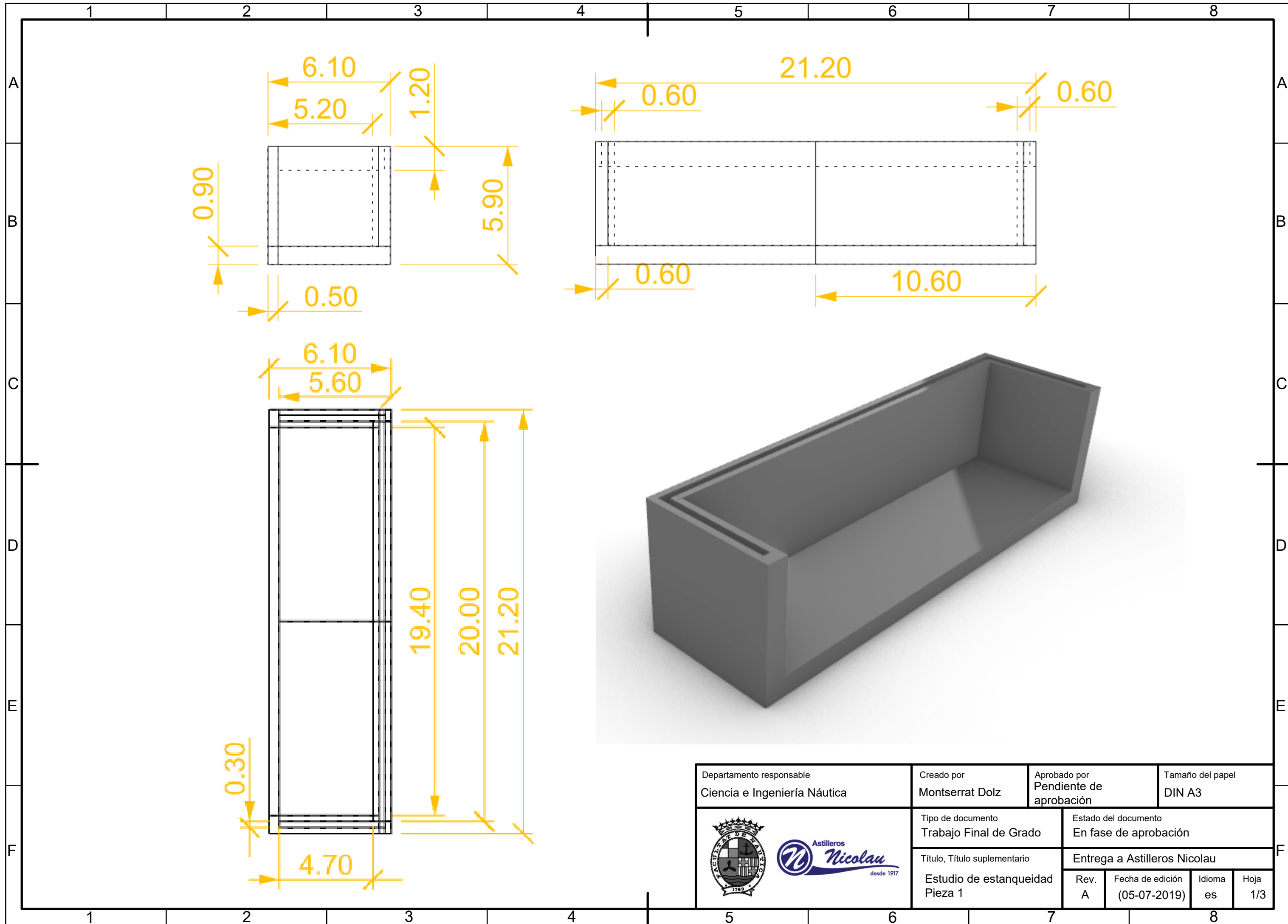
Departamento responsable Ciencia e Ingeniería Náutica	Creado por Montserrat Dolz	Aprobado por Pendiente de aprobación	Tamaño del papel y unidades DIN A3; cm	
 	Tipo de documento Trabajo Final de Grado		Estado del documento En fase de aprobación	
	Título, Título suplementario Vistas del comando para fabricación additiva		Entrega a Astilleros Nicolau	
	Rev. A	Fecha de edición (29-06-2019)	Idioma es	Hoja 1





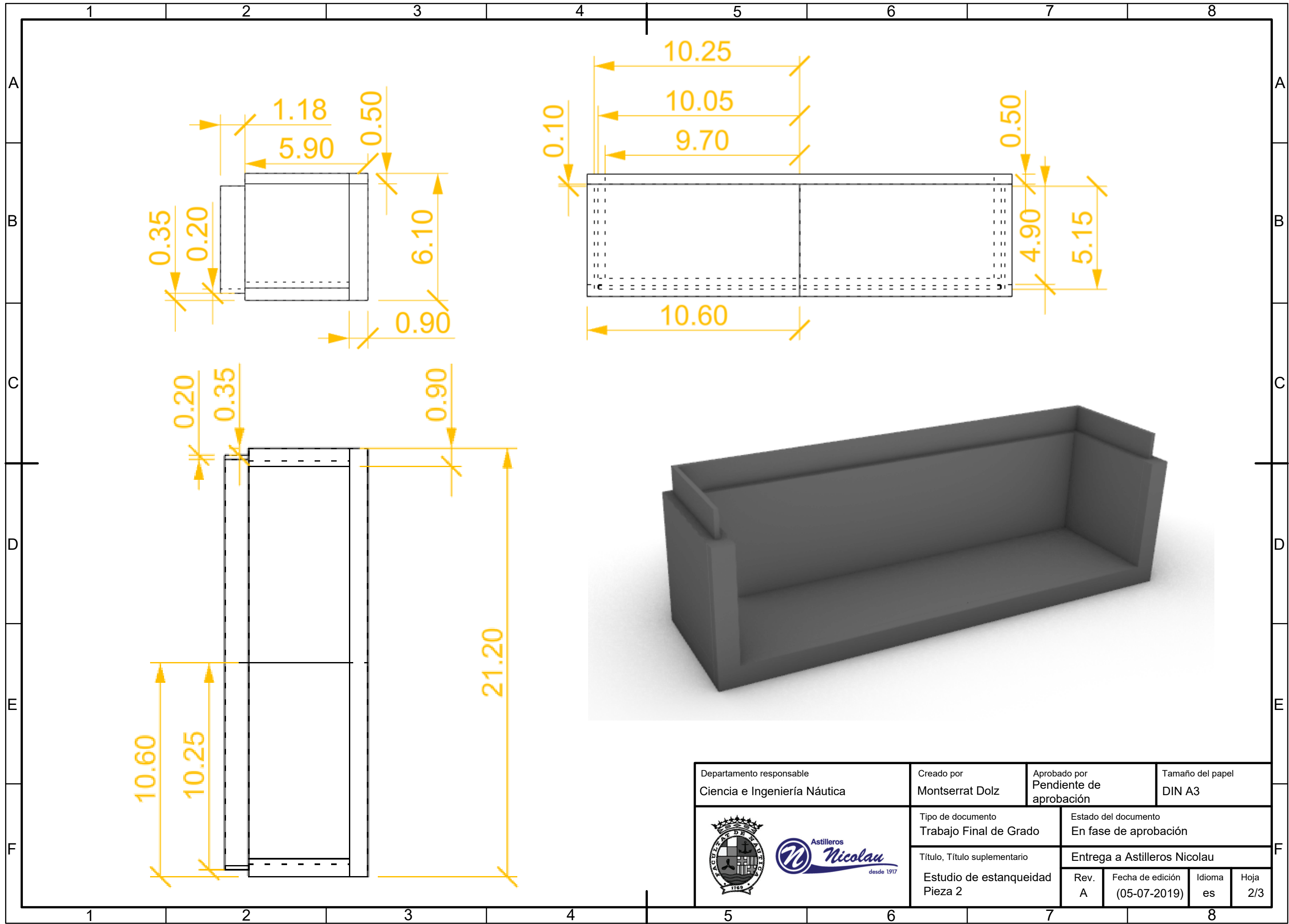
Departamento responsable Ciencia e Ingeniería Náutica	Creado por Montserrat Dolz	Aprobado por Pendiente de aprobación	Tamaño del papel y unidades DIN A3; cm
 	Tipo de documento Trabajo Final de Grado	Estado del documento En fase de aprobación	
	Título, Título suplementario Vistas de l'arc de pont	Entrega a Astilleros Nicolau	
	Rev. A	Fecha de edición (29-06-2019)	Idioma es
			Hoja 1/2





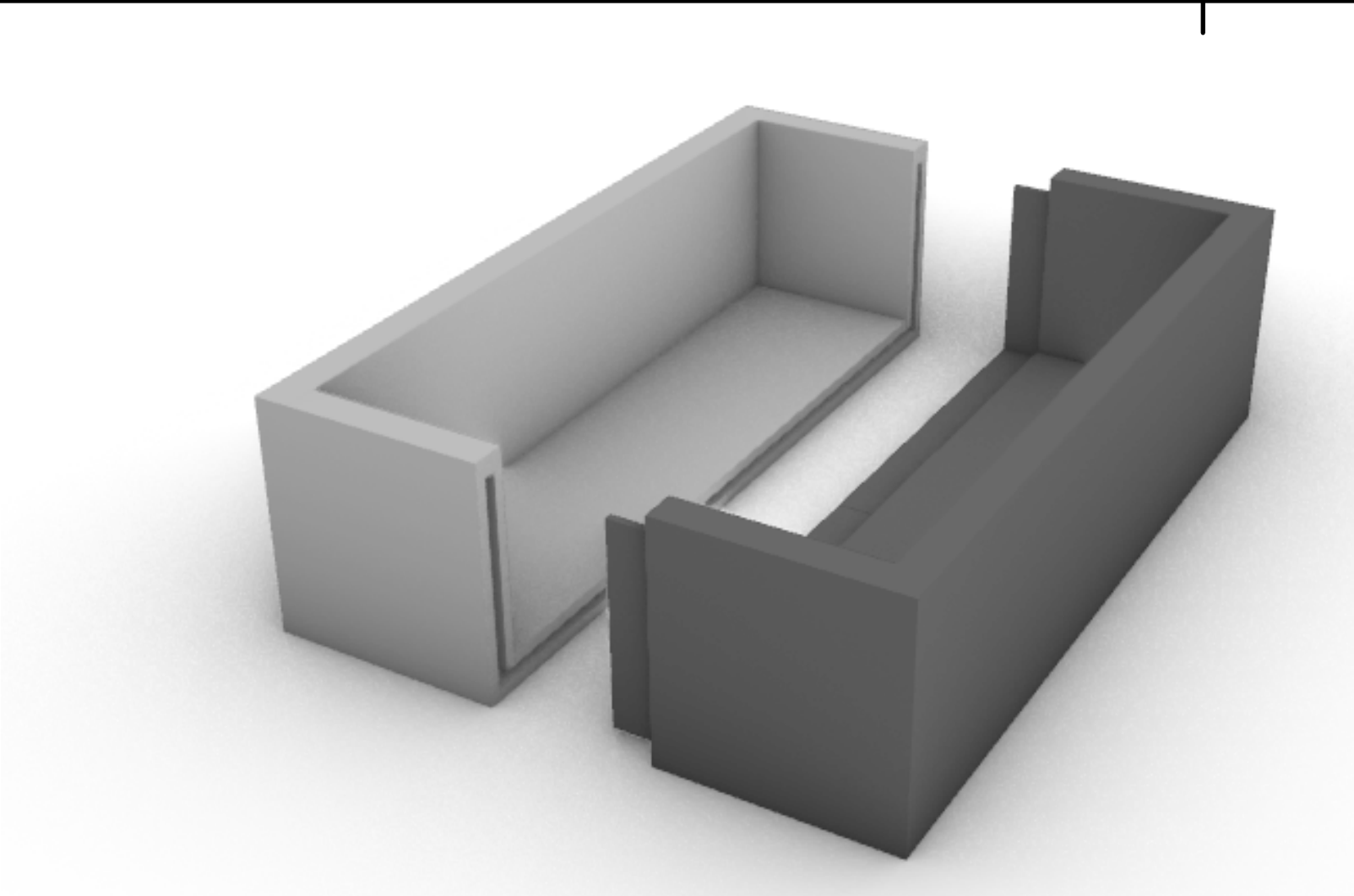
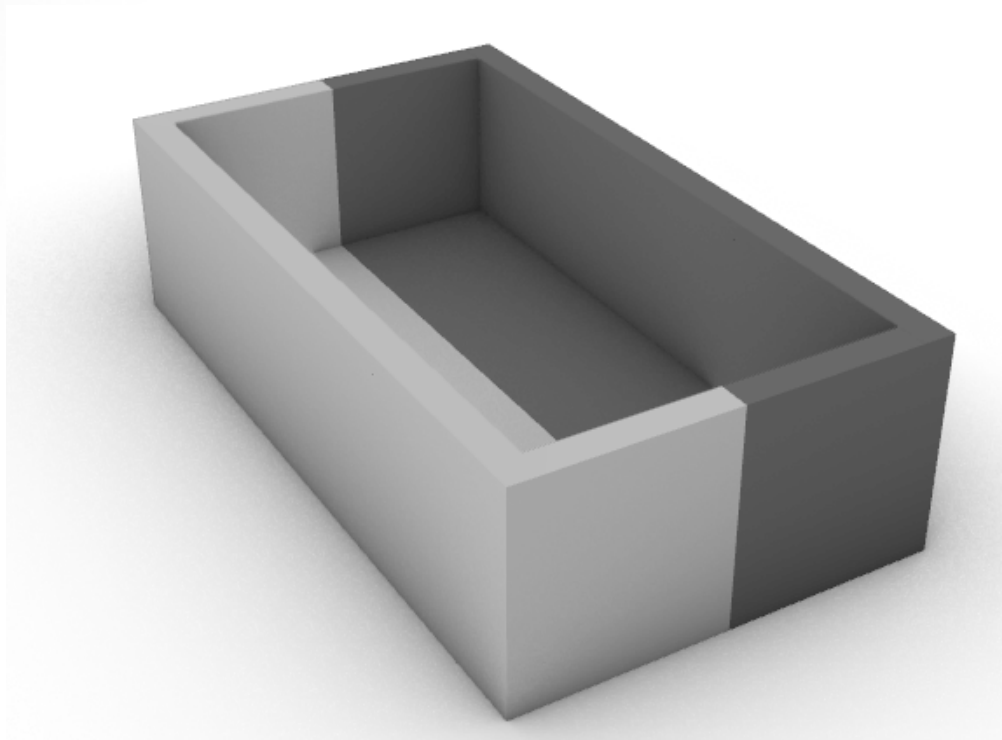
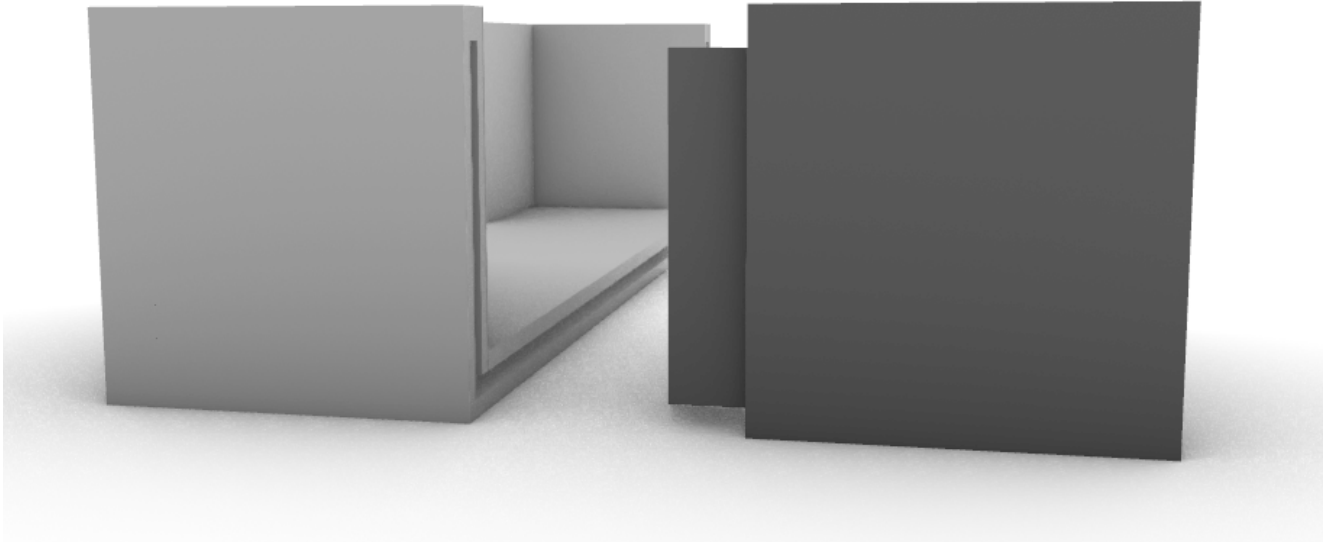






Departamento responsable Ciencia e Ingeniería Náutica	Creado por Montserrat Dolz	Aprobado por Pendiente de aprobación	Tamaño del papel y unidades DIN A3; cm	
 	Tipo de documento Trabajo Final de Grado		Estado del documento En fase de aprobación	
	Título, Título suplementario Vistas y renderizado de l'arc de pont		Entrega a Astilleros Nicolau	
Rev. A		Fecha de edición (29-06-2019)	Idioma es	Hoja 2/2



Departamento responsable Ciencia e Ingeniería Náutica	Creado por Montserrat Dolz	Aprobado por Pendiente de aprobación	Tamaño del papel DIN A3
 	Tipo de documento Trabajo Final de Grado		Estado del documento En fase de aprobación
	Título, Título suplementario Estudio de estanqueidad Pieza 1		Entrega a Astilleros Nicolau
	Rev. A	Fecha de edición (05-07-2019)	Idioma es Hoja 1/3



Departamento responsable Ciencia e Ingeniería Náutica	Creado por Montserrat Dolz	Aprobado por Pendiente de aprobación	Tamaño del papel DIN A3
 	Tipo de documento Trabajo Final de Grado	Estado del documento En fase de aprobación	
	Título, Título suplementario Estudio de estanqueidad Pieza 2	Entrega a Astilleros Nicolau	
Rev. A		Fecha de edición (05-07-2019)	Idioma es
		Hoja 2/3	

1	2	3	4	5	6	7	8																				
A								A																			
B								B																			
C								C																			
D								D																			
E								E																			
F	<table><tr><td>Departamento responsable Ciencia e Ingeniería Náutica</td><td>Creado por Montserrat Dolz</td><td>Aprobado por Pendiente de aprobación</td><td>Tamaño del papel DIN A3</td></tr><tr><td rowspan="2"></td><td>Tipo de documento Trabajo Final de Grado</td><td colspan="2">Estado del documento En fase de aprobación</td></tr><tr><td>Título, Título suplementario Estudio de estanqueidad Pieza 1 y 2</td><td colspan="2">Entrega a Astilleros Nicolau</td></tr><tr><td></td><td>Rev. A</td><td>Fecha de edición (05-07-2019)</td><td>Idioma es</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td>Hoja 3/3</td></tr></table>							Departamento responsable Ciencia e Ingeniería Náutica	Creado por Montserrat Dolz	Aprobado por Pendiente de aprobación	Tamaño del papel DIN A3	 	Tipo de documento Trabajo Final de Grado	Estado del documento En fase de aprobación		Título, Título suplementario Estudio de estanqueidad Pieza 1 y 2	Entrega a Astilleros Nicolau			Rev. A	Fecha de edición (05-07-2019)	Idioma es				Hoja 3/3	F
Departamento responsable Ciencia e Ingeniería Náutica	Creado por Montserrat Dolz	Aprobado por Pendiente de aprobación	Tamaño del papel DIN A3																								
 	Tipo de documento Trabajo Final de Grado	Estado del documento En fase de aprobación																									
	Título, Título suplementario Estudio de estanqueidad Pieza 1 y 2	Entrega a Astilleros Nicolau																									
	Rev. A	Fecha de edición (05-07-2019)	Idioma es																								
			Hoja 3/3																								
1	2	3	4	5	6	7	8																				

